МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕОРИИ АВТОМОБИЛЯ

Издание третье, переработанное и дополненное

*Допущено Учебно-методическим объединением по образованию
в области транспортных машин и транспортно-
технологических комплексов в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся по специальности
«Наземные транспортно-технологические средства»,
специализация «Автомобили и тракторы»*

Нижний Новгород 2016

УДК 629.113 (075.8)
ББК 39.33-01 я 73
С 232

Авторы: А.М. Грошев, В.Н. Кравец, К.Я. Лелиовский, В.И. Песков

Рецензенты:
кафедра «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»
Ижевского государственного технического университета
им. М.Т. Калашникова;
кандидат технических наук, профессор *В.В. Серебряков*

С 232 **Сборник задач по теории автомобиля**: учеб. пособие / А.М. Грошев [и др.] ; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород, 2016. – 259 с.

ISBN 978-5-502-00802-0

Приводятся основные теоретические положения учебной дисциплины «Теория автомобиля», даются примеры решения типовых задач, а также тексты задач для самостоятельного решения и ответы к ним.

Учебное пособие разработано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по специальности «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы».

Рис. 29. Табл. 5. Библиогр.: 40 назв.

УДК 629.113 (075.8)
ББК 39.33-01 я 73

ISBN 978-5-502-00802-0

© **Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2016**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. Основы теории колёсного движителя и прямолинейное движение автомобиля 5
2. Тягово-скоростные свойства автомобиля 35
3. Топливная экономичность автомобиля 55
4. Тягово-скоростные свойства и топливная экономичность автомобиля с гидромеханической трансмиссией 74
5. Тормозные свойства автомобиля 95
6. Криволинейное движение, управляемость и манёвренность автомобиля 115
7. Устойчивость автомобиля 149
8. Плавность движения автомобиля 171
9. Проходимость автомобиля 209
10. Определение основных параметров автомобиля 236

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ 251

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 256

ВВЕДЕНИЕ

Сборник задач предназначается для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков и умений студентами специальности «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы» при изучении учебной дисциплины «Теория автомобиля».

В настоящем издании обобщён и систематизирован полувековой опыт преподавателей кафедры «Автомобили» Горьковского политехнического института им. А.А. Жданова (в настоящее время кафедры «Автомобили и тракторы» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева») по разработке учебно-методической литературы для проведения практических занятий по дисциплине «Теория автомобиля».

Первый сборник задач и упражнений по теории автомобиля был опубликован преподавателями кафедры в форме учебного пособия института в 1967 г. [23].

Второе дополненное и исправленное издание сборника задач и упражнений по теории автомобиля вышло в свет в 1989 – 1990 гг. в форме методических разработок [29…31, 39].

Настоящее третье переработанное и дополненное издание сборника задач по теории автомобиля составлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования третьего поколения по специальности «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы».

Учебное пособие состоит из десяти глав. Каждая глава содержит основные теоретические положения, примеры решения типовых задач и задачи для самостоятельного решения с помещёнными в конце книги ответами на них. В основу задач положены конструктивные параметры преимущественно реальных автомобилей, освоенных в производстве отечественными и зарубежными предприятиями.

В качестве теоретической основы задачника использованы материалы работы [14], допущенной Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве базового учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства». При составлении данного сборника задач были широко использованы результаты теоретических исследований и практических разработок отечественных и зарубежных учёных в области теории автомобиля, в том числе и его авторов.

Разделы 1 и 2 написаны В.Н. Кравцом и В.И. Песковым совместно, раздел 3 – В.Н. Кравцом, К.Я. Лелиовским и В.И. Песковым совместно, раздел 4 – В.Н. Кравцом и К.Я. Лелиовским совместно, раздел 5 – А.М. Грошевым, В.Н. Кравцом и В.И. Песковым совместно, разделы 6, 7 и 8 – В.Н. Кравцом, раздел 9 – В.Н. Кравцом и В.И. Песковым совместно, раздел 10 – А.М. Грошевым, В.Н. Кравцом и К.Я. Лелиовским совместно.

Общее редактирование всех трёх изданий выполнено В.Н. Кравцом.

1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ КОЛЁСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ И ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Радиусы колеса

Свободный радиус (м):

$$r_{\text{с}} = 0{,}5d + H_{\text{ш}} = 0{,}5d + \Delta_{\text{ш}} B_{\text{ш}}. \tag{1.1}$$

Статический радиус (м):

$$r_{\text{с}} = 0{,}5d + \lambda_z H_{\text{ш}} = 0{,}5d + \lambda_z \Delta_{\text{ш}} B_{\text{ш}}. \tag{1.2}$$

Динамический радиус (м):

$$r_{\text{д}} \approx r_{\text{ст}}. \tag{1.3}$$

Радиус качения (м):

$$r_{\text{к}} = \frac{V}{\omega_{\text{к}}}; \tag{1.4}$$

$$r_{\text{к}} = \frac{S}{2\pi N_{\text{к}}}; \tag{1.5}$$

$$r_{\text{к}} = r_{\text{к.в}} - \lambda_T T_{\text{к}}; \tag{1.6}$$

$$r_{\text{к}} = (1{,}02\ldots1{,}04)\, r_{\text{ст}}, \tag{1.7}$$

где d – посадочный диаметр шины, м; $H_{\text{ш}}$ – высота профиля шины, м; $\Delta_{\text{ш}}$ – коэффициент формы профиля шины; $B_{\text{ш}}$ – ширина профиля шины, м; λ_z – коэффициент нормальной (вертикальной) деформации шины; V – поступательная скорость колеса, м/с; $\omega_{\text{к}}$ – угловая скорость колеса, рад/с; S – путь, пройденный колесом, м; $N_{\text{к}}$ – число оборотов колеса; $r_{\text{к.в}}$ – радиус качения ведомого колеса, м; λ_T – коэффициент тангенциальной эластичности шины, м/(Н·м); $T_{\text{к}}$ – момент, действующий на колесо, Н·м: 1,02 для диагональных шин, 1,04 для радиальных шин.

2. Скорость колеса и автомобиля

Скорости колеса (м/с):

– действительная

$$V_{\text{д}} = \omega_{\text{к}} r'_{\text{к}}; \tag{1.8}$$

– теоретическая

$$V_{\text{т}} = \omega_{\text{к}} r_{\text{к}0}. \tag{1.9}$$

Коэффициенты
– буксования ведущего колеса

$$s_{\text{б}} = 1 - \frac{r'_{\text{к}}}{r_{\text{к}0}} = 1 - \frac{r'_{\text{к}}}{r_{\text{к.с}}}; \tag{1.10}$$

– скольжения тормозящего колеса

$$s = 1 - \frac{r_{\text{к}0}}{r'_{\text{к}}} = 1 - \frac{r_{\text{к}0}}{r_{\text{к.с}}}. \tag{1.11}$$

Скорость автомобиля (м/с):
– без буксования ведущих колёс

$$V = \frac{\omega_e r_{\text{к}}}{u_{\text{тр}}} = \frac{0{,}105 n_e r_{\text{к}}}{u_{\text{тр}}}; \tag{1.12}$$

– при буксовании ведущих колёс

$$V = \frac{\omega_e r_{\text{к.с}}(1 - s_{\text{б}})}{u_{\text{тр}}} = \frac{0{,}105 n_e r_{\text{к.с}}(1 - s_{\text{б}})}{u_{\text{тр}}}. \tag{1.13}$$

Скорость автомобиля без буксования ведущих колёс (км/ч)

$$V_{\text{а}} = 3{,}6V = \frac{3{,}6\omega_e r_{\text{к}}}{u_{\text{тр}}} = \frac{0{,}378 n_e r_{\text{к}}}{u_{\text{тр}}}. \tag{1.14}$$

Ускорение разгона автомобиля (м/с^2)

$$a_{\text{а}} = \frac{\varepsilon_e r_{\text{к}}}{u_{\text{тр}}}, \tag{1.15}$$

где ω_e – угловая скорость колеса, рад/с; $r'_{\text{к}}$ – кинематический радиус колеса, м; $r_{\text{к}0}$ – радиус качения колеса без скольжения, м; $r_{\text{к.с}}$ – радиус качения свободного колеса, м; $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущего колеса, м; $u_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии; n_e – частота вращения вала двигателя, об/мин; ε_e – угловое ускорение вала двигателя, рад/с^2.

3. Уравнения движения колеса

Уравнения силового баланса (Н):

– ведущего колеса

$$R_x = \frac{T_т}{r_д} - f_с R_z - \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д}; \tag{1.16}$$

– ведомого колеса

$$R_x = -\left(f_с R_z + \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д} \right), \tag{1.17}$$

где $T_т$ – тяговый момент, Н·м; $r_д$ – динамический радиус колеса, м; $f_с$ – коэффициент сопротивления качению колеса, учитывающий силовые потери; R_z – нормальная реакция опорной поверхности на колесо, Н; $J_к$ – момент инерции колеса, кг·м^2; $\varepsilon_к$ – угловое ускорение колеса, рад/с^2.

4. Сопротивление качению колеса

Коэффициент сопротивления качению ведущего колеса

$$f = f_с + f_к. \tag{1.18}$$

Составляющие коэффициента сопротивления качению, характеризующие:

– силовые потери

$$f_с = \frac{a_ш}{r_д}; \tag{1.19}$$

– кинематические потери

$$f_к = \frac{T_т \left(r_д - r_к \right)}{R_z r_д r_к}. \tag{1.20}$$

Зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости:

– для шин легковых автомобилей

$$f = f_0 + k'_f V^2; \tag{1.21}$$

– для шин грузовых автомобилей

$$f = f_0 + k''_f V, \tag{1.22}$$

где $a_ш$ – продольный снос нормальной реакции, м; $r_д$ – динамический радиус колеса, м; $T_т$ – тяговый момент колеса, Н·м; $r_к$ – радиус качения колеса, м; R_z – нормальная реакция, Н; f_0 – коэффициент сопротивления

качению при скорости, близкой к нулю; k'_f и k''_f – коэффициенты, учитывающие влияние скорости, с²/м² и с/м соответственно; V – скорость автомобиля, м/с.

5. Сцепление колеса с опорной поверхностью

Коэффициент продольного сцепления колеса с опорной поверхностью

$$\varphi_x = \frac{R_{x\varphi}}{R_z}, \tag{1.23}$$

где $R_{x\varphi}$ – продольная сила сцепления колеса с опорной поверхностью, Н; R_z – нормальная реакция на колесо со стороны опорной поверхности, Н.

6. Внешние силы, действующие на автомобиль

Сила тяжести автомобиля (Н)

$$G_а = m_а g\,. \tag{1.24}$$

Сила сопротивления качению (Н)

$$F_f = f_{ср} G_а \cos\alpha = f_{ср} m_а g \cos\alpha\,. \tag{1.25}$$

Сила сопротивления подъёму или скатывающая сила (Н)

$$F_i = G_а \sin\alpha = m_а g \sin\alpha \approx m_а g i\,. \tag{1.26}$$

Сила сопротивления дороги (Н)

$$F_\psi = \psi G_а = \psi m_а g\,. \tag{1.27}$$

Коэффициент сопротивления дороги

$$\psi = f_{ср} \cos\alpha \pm \sin\alpha \approx f_{ср} \pm i\,. \tag{1.28}$$

Сила сопротивления воздуха (Н)

$$F_в = 0{,}5 c_x \rho_в A_в V_w^2 = k_в A_в V_w^2 = W V_w^2\,. \tag{1.29}$$

Сила сопротивления поступательному разгону (Н)

$$F_{ax} = -m_а a_а\,, \tag{1.30}$$

где $m_а$ – масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; $f_{ср}$ – осреднённый коэффициент сопротивления качению; α – угол продольного уклона дороги, рад или град; i – продольный уклон дороги; c_x – коэффициент обтекаемости; $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м³; $A_в$ – пло-

щадь миделя, м^2; V_w – скорость движения автомобиля относительно воздушной среды, м/с; $k_в$ – коэффициент сопротивления воздуха, Н·с^2/м^4; W – фактор обтекаемости автомобиля, Н·с^2/м^2; $a_а$ – ускорение поступательного разгона автомобиля, м/с^2.

7. Внутренние силы и моменты автомобиля

Скоростные характеристики двигателя

Эффективная стендовая мощность двигателя (кВт)

$$P_e^{\text{с}} = \frac{T_e^{\text{с}}\omega_e}{1000} = \frac{T_e^{\text{с}} n_e}{9550}. \tag{1.31}$$

Коэффициенты приспособляемости двигателя:

– по крутящему моменту

$$k_T = \frac{T_{e\,\max}^{\text{с}}}{T_{eP}^{\text{с}}}; \tag{1.32}$$

– по угловой скорости (частоте вращения) вала

$$k_\omega = \frac{\omega_{eP}}{\omega_{eT}} = \frac{n_{eP}}{n_{eT}}. \tag{1.33}$$

Аналитическое описание внешней скоростной характеристики двигателя:

– зависимость мощности от угловой скорости вала двигателя (кВт)

$$P_e = P_{e\,\max}\left[a\left(\frac{\omega_e}{\omega_{eP}}\right) + b\left(\frac{\omega_e}{\omega_{eP}}\right)^2 - c\left(\frac{\omega_e}{\omega_{eP}}\right)^3\right]; \tag{1.34}$$

– зависимость крутящего момента от угловой скорости вала двигателя (Н·м)

$$T_e = T_{eP}\left[a + b\left(\frac{\omega_e}{\omega_{eP}}\right) - c\left(\frac{\omega_e}{\omega_{eP}}\right)^2\right]. \tag{1.35}$$

Коэффициенты в уравнениях мощности и крутящего момента двигателя

$$a = \frac{k_T k_\omega (2 - k_\omega) - 1}{k_\omega (2 - k_\omega) - 1}; \tag{1.36}$$

$$b = -\frac{2k_\omega (k_T - 1)}{k_\omega (2 - k_\omega) - 1}; \tag{1.37}$$

$$c = -\frac{k_\omega^2 (k_T - 1)}{k_\omega (2 - k_\omega) - 1}. \tag{1.38}$$

Действительные (подкапотные) значения:
– мощности (кВт)

$$P_e = k_\text{с} P_e^\text{с}; \tag{1.39}$$

– крутящего момента (Н·м)

$$T_e = k_c T_e^c, \tag{1.40}$$

где T_e^c – эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; ω_e – угловая скорость вала двигателя, рад/с; n_e – частота вращения вала двигателя, об/мин; $T_{e\max}^\text{с}$ – максимальный эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; $T_{eP}^\text{с}$ – эффективный стендовый крутящий момент двигателя при максимальной мощности, Н·м; ω_{eP} (n_{eP}) – угловая скорость (частота вращения) вала двигателя при максимальной мощности, рад/с (об/мин); ω_{eT} (n_{eT}) – угловая скорость (частота вращения) вала двигателя при максимальном крутящем моменте, рад/с (об/мин); P_e, T_e, ω_e – текущие значения мощности, крутящего момента и угловой скорости вала двигателя, кВт, Н·м, рад/с соответственно; $P_{e\max}$ – максимальная мощность, кВт; $k_\text{с}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя.

Характеристики механической трансмиссии

Мощность, теряемая в трансмиссии (кВт),

$$P_\text{тр} = k_\text{с} P_e^\text{с} (1 - \eta_\text{н}) + \frac{F_{\text{тр}0} V + k_\text{тр} V^2}{1000}. \tag{1.41}$$

Коэффициент, учитывающий потери на трение,

$$\eta_\text{н} = 0{,}98^k 0{,}97^l 0{,}995^m. \tag{1.42}$$

Коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии

$$\eta_{тр} = \eta_н - \frac{F_{тр0}V + k_{тр}V^2}{1000\,k_с P_e^c}, \tag{1.43}$$

где $k_с$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $P_e^с$ – эффективная стендовая мощность двигателя, кВт; $F_{тр0}$ – сила сопротивления в трансмиссии при скорости, близкой к нулю, Н; V – скорость автомобиля, м/с; $k_{тр}$ – коэффициент, характеризующий скоростные потери в трансмиссии, Н·с/м; 0,98 – КПД цилиндрической зубчатой пары; 0,97 – КПД конической зубчатой пары; 0,995 – КПД карданного шарнира; k, l, m – число цилиндрических и конических зубчатых пар, карданных шарниров в механизмах трансмиссии соответственно.

Тяговые характеристики ведущих колёс

Тяговая мощность на ведущих колёсах (кВт)

$$P_т = \left[k_с P_e^с - \frac{\left(\gamma_e k_с T_e^с + J_e\right)\varepsilon_e \omega_e}{1000} \right] \eta_{тр}. \tag{1.44}$$

Тяговый момент ведущих колёс (Н·м)

$$T_т = k_с T_e^с \left(1 - \gamma_e \varepsilon_e - \frac{J_e \varepsilon_e}{k_с T_e^с} \right) u_{тр} \eta_{тр}. \tag{1.45}$$

Тяговая сила на ведущих колёсах (Н):

– по крутящему моменту двигателя

$$F_т = \frac{k_с T_e^с u_{тр} \eta_{тр}}{r_д} - \frac{\left(\gamma_e k_с T_e^с + J_e\right)\varepsilon_e u_{тр} \eta_{тр}}{r_д}; \tag{1.46}$$

– по сцеплению с опорной поверхностью

$$F_{тφ} = \left(\varphi_x + f_с\right)\sum R_{zвщ} + \frac{\sum J_{к.вщ}\varepsilon_к}{r_д}, \tag{1.47}$$

где $k_с$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $P_e^с$ – эффективная стендовая мощность двигателя, кВт; γ_e – коэффициент, учитывающий ускорение вращения вала двигателя, с^2/рад; $T_e^с$ – эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; J_e – момент инерции вращающихся частей двигателя, кг·м^2; ε_e – угловое ускорение вала двигателя, рад/с^2; ω_e – угловая скорость вала двигателя, рад/с; $\eta_{тр}$ – КПД транс-

миссии; $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $r_д$ – динамический радиус колёс, м; φ_x – коэффициент продольного сцепления; $f_с$ – силовой коэффициент сопротивления качению; $\sum R_{zвщ}$ – суммарная нормальная реакция на все ведущие колёса, Н; $\sum J_{к.вщ}$ – суммарный момент инерции всех ведущих колёс, кг·м^2; $\varepsilon_к$ – угловое ускорение ведущих колёс, рад/с^2.

8. Силы и моменты, действующие на автомобиль при прямолинейном движении

Сопротивление разгону автомобиля:

– сила сопротивления разгону (Н)

$$F_a = \delta m_а a_а; \tag{1.48}$$

– коэффициент учёта вращающихся масс

$$\delta = 1 + \frac{\left(\gamma_e k_с T_e^с + J_e\right) u_{тр}^2 \eta_{тр}}{m_а r_д r_к} + \frac{\sum J_к}{m_а r_д r_к} = 1 + \sigma_1 u_к^2 u_д^2 + \sigma_2, \tag{1.49}$$

где $\sigma_1 = \dfrac{\left(\gamma_e k_с T_e^с + J_e\right) u_0^2 \eta_{тр}}{m_а r_д r_к}$; $\sigma_2 = \dfrac{\sum J_к}{m_а r_д r_к}$.

Уравнение прямолинейного движения автомобиля (Н):

– в общем виде

$$F_{т0} - F_\psi - F_в - F_a - F_{сx} = 0; \tag{1.50}$$

– в развёрнутом виде

$$\frac{k_с T_e^с u_{тр} \eta_{тр}}{r_д} - \psi m_а g - W V_w^2 - \delta m_а a_а - F_{сx} = 0. \tag{1.51}$$

Условия возможности движения автомобиля (Н)

$$\psi m_а g + W V_w^2 + F_{сx} \le \frac{k_с T_e^с u_{тр} \eta_{тр}}{r_д} \le \left(\varphi_x + f_с\right) \sum R_{zвщ}, \tag{1.52}$$

где $m_а$ – масса автомобиля, кг; $a_а$ – ускорение разгона автомобиля, м/с^2; γ_e – коэффициент, учитывающий ускорение вращения вала двигателя, с^2/рад; $k_с$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $T_e^с$ – эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; J_e – момент инерции вращающихся частей двигателя, кг·м^2; $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $u_к$, $u_д$, u_0 – передаточные числа коробки передач, до-

полнительной передачи, главной передачи соответственно; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; $r_д$ – динамический радиус колёс, м; $r_к$ – радиус качения ведущих колёс, м; $\sum J_к$ – суммарный момент инерции всех колёс, кг·м^2; $F_{т0}$ – полная тяговая сила на ведущих колёсах, Н; $F_ψ$ – сила сопротивления дороги, Н; $F_в$ – сила сопротивления воздуха, Н; $F_{сх}$ – сила сопротивления прицепа, Н; ψ – коэффициент сопротивления дороги; g – ускорение свободного падения, м/с^2; W – фактор обтекаемости автомобиля, Н·с^2/м^2; V_w – скорость движения автомобиля относительно воздушной среды, м/с; φ_x – коэффициент продольного сцепления; $f_с$ – коэффициент сопротивления качению, учитывающий силовые потери; $\sum R_{zвщ}$ – суммарная нормальная реакция на ведущие колёса, Н.

9. Нормальные реакции опорной поверхности

Динамические нормальные реакции, действующие на колёса (Н):

– передней оси

$$\sum R_{z1} = \frac{G_н b - \sum T_f - (F_i + F_{ax})h_g - F_в h_в - F_{wz} b_w - T_{wy} - F_{сx} h_с - F_{сz} b_с}{L}; \tag{1.53}$$

– задней оси

$$\sum R_{z2} = \frac{G_н a + \sum T_f + (F_i + F_{ax})h_g + F_в h_в - F_{wz} a_w + T_{wy} + F_{сx} h_с + F_{сz}(L + b_с)}{L}. \tag{1.54}$$

Статические нормальные реакции, действующие на колёса (Н):

– передней оси

$$\sum R_{z1}^{ст} = G_{а1} = \frac{G_а b}{L}; \tag{1.55}$$

– задней оси

$$\sum R_{z2}^{ст} = G_{а2} = \frac{G_а a}{L}. \tag{1.56}$$

Коэффициенты изменения нормальных реакций, действующих на колёса:

– передней оси

$$m_{R1} = \frac{\sum R_{z1}}{\sum R_{z1}^{\text{ст}}} = \frac{\sum R_{z1}}{G_{\text{a}1}}; \qquad (1.57)$$

– задней оси

$$m_{R2} = \frac{\sum R_{z2}}{\sum R_{z2}^{\text{ст}}} = \frac{\sum R_{z2}}{G_{\text{a}2}}, \qquad (1.58)$$

где $G_{\text{н}}$ – нормальная составляющая силы тяжести, Н; $\sum T_f$ – суммарный момент сопротивления качению всех колёс, Н·м; F_i – сила сопротивления подъёму, Н; F_{ax} – сила сопротивления поступательному разгону, Н; h_g – высота расположения центра масс, м; $F_{\text{в}}$ – сила сопротивления воздуха, Н; $h_{\text{в}}$ – высота расположения центра парусности, м; F_{wz} – подъёмная аэродинамическая сила, Н; b_w – расстояние от центра парусности до задней оси, м; T_{wy} – аэродинамический опрокидывающий момент, Н·м; $F_{\text{c}x}$ – сила сопротивления прицепа, Н; h_{c} – высота расположения сцепного устройства, м; $F_{\text{c}z}$ – нормальная составляющая силы в сцепном устройстве, Н; b_{c} – расстояние от сцепного устройства до задней оси, м; L – база автомобиля, м; a – расстояние от центра масс до передней оси, м; a_w – расстояние от центра парусности до передней оси, м; $G_{\text{a}1}$ и $G_{\text{a}2}$ – нормальные нагрузки на передние и задние колёса автомобиля, неподвижно стоящего на горизонтальной опорной поверхности дороги, Н.

Примеры решения типовых задач

Пример 1.1. Определить динамический радиус колеса с шиной 1600×600 – 685. Коэффициент нормальной деформации шины 0,84.

Дано: $D_{\text{н}}$ = 1600 мм; $B_{\text{ш}}$ = 600 мм; d = 685 мм; λ_z = 0,84.

Определить: $r_{\text{д}}$.

Решение: Высота профиля шины

$$H_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{н}} - d}{2} = \frac{1600 - 685}{2} = 457{,}5 \text{ мм} = 0{,}4575 \text{ м}.$$

Статический радиус колеса

$$r_{\text{ст}} = 0{,}5d + \lambda_z H_{\text{ш}} = 0{,}5 \cdot 0{,}685 + 0{,}84 \cdot 0{,}4575 = 0{,}726 \text{ м}.$$

Динамический радиус колеса

$$r_д = r_{ст} = 0{,}726 \text{ м}.$$

Ответ: $r_д = 0{,}726$ м.

Пример 1.2. Грузовой автомобиль движется по участку дороги длиной 3 км со скоростью 36 км/ч на третьей передаче в коробке передач. Передаточные числа: коробки передач 2,61, главной передачи 6,87; радиус качения ведущих колёс 0,45 м. Определить число оборотов и частоту вращения вала двигателя.

Дано: $S = 3$ км; $V_а = 36$ км/ч; $u_{кIII} = 2{,}61$; $u_0 = 6{,}87$; $r_к = 0{,}45$ м.

Определить: N_e; n_e.

Решение: Число оборотов:

– ведущих колёс

$$N_к = \frac{S}{2\pi r_к} = \frac{3 \cdot 1000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}45} = 1061{,}6 \text{ об.};$$

– вала двигателя

$$N_e = N_к u_{кIII} u_о = 1061{,}6 \cdot 2{,}61 \cdot 6{,}87 = 19035 \text{ об.}$$

Время движения автомобиля по участку дороги

$$t = \frac{S}{V_а} = \frac{3}{36} = \frac{1}{12} \text{ ч} = \frac{60}{12} = 5 \text{ мин.}$$

Частота вращения вала двигателя

$$n_e = \frac{N_e}{t} = \frac{19035}{5} = 3807 \text{ об/мин.}$$

Ответ: $N_e = 19035$ об.; $n_e = 3807$ об/мин.

Пример 1.3. Ведущее колесо катится по твёрдой опорной поверхности. Масса автомобиля, приходящаяся на колесо, 335 кг; продольный снос нормальной реакции 3,86 мм; момент инерции колеса 0,734 кг·м^2; статический радиус колеса 0,257 м; радиус качения на 4% больше статического радиуса. Определить величину тягового момента, необходимого для разгона колеса с ускорением 2 м/с^2.

Дано: $m_к = 335$ кг; $a_ш = 3{,}86$ мм; $J_к = 0{,}734$ кг·м^2; $r_{ст} = 0{,}257$ мм; $r_к = 1{,}04\, r_{ст}$; $a_а = 2$ м/с^2.

Определить: $T_т$.

Решение: Нормальная нагрузка колеса

$$F_z = m_к g = 335 \cdot 9{,}81 = 3286 \text{ Н}.$$

Нормальная реакция на колесо

$$R_z = F_z = 3286 \text{ Н}.$$

Радиусы колеса:
– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}257 \text{ м};$$

– качения

$$r_к = 1{,}04\, r_{ст} = 1{,}04 \cdot 0{,}257 = 0{,}267 \text{ м}.$$

Силовая составляющая коэффициента сопротивления качению

$$f_с = \frac{a_ш}{r_д} = \frac{3{,}86}{257} = 0{,}015.$$

Угловое ускорение колеса

$$\varepsilon_к = \frac{a_a}{r_к} = \frac{2}{0{,}267} = 7{,}49 \text{ рад/с}^2.$$

Условие работы колеса в ведущем режиме

$$R_x = \frac{T_т}{r_д} - f_с R_z - \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д} > 0,$$

откуда $T_т > f_с r_д R_z + J_к \varepsilon_к = 0{,}015 \cdot 0{,}257 \cdot 3286 + 0{,}734 \cdot 7{,}49 > 18{,}17$ Н·м.

Ответ: $T_т$ больше 18,17 Н·м.

Пример 1.4. При движении легкового автомобиля массой 1427 кг со скоростью 36 км/ч на спуске с уклоном 8% сила сопротивления дороги составила 280 Н. Определить силу сопротивления дороги на подъёме с таким же уклоном, а также во сколько раз возрастёт мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги, при такой же скорости движения.

Дано: $m_а = 1427$ кг; $V_а = 36$ км/ч; $i_1 = -8\%$; $F_{\psi 1} = 280$ Н; $i_2 = 8\%$.

Определить: $F_{\psi 2}$; $\dfrac{P_{\psi 2}}{P_{\psi 1}}$.

Решение: Параметры при движении автомобиля на спуске:
– коэффициент сопротивления дороги

$$\psi_1 = \frac{F_{\psi 1}}{m_а g} = \frac{280}{1427 \cdot 9{,}81} = 0{,}02\,;$$

– коэффициент сопротивления качению

$$f = \psi_1 + i_1 = 0{,}02 + \frac{8}{100} = 0{,}1\,;$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги,

$$P_{\psi 1} = \frac{F_{\psi 1} V_а}{3600} = \frac{280 \cdot 36}{3600} = 2{,}8 \text{ кВт.}$$

Параметры при движении автомобиля на подъёме:
– коэффициент сопротивления дороги

$$\psi_2 = f + i_2 = 0{,}1 + \frac{8}{100} = 0{,}18\,;$$

– сила сопротивления дороги

$$F_{\psi 2} = \psi_2 m_а g = 0{,}18 \cdot 1427 \cdot 9{,}81 = 2520 \text{ Н;}$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги,

$$P_{\psi 2} = \frac{F_{\psi 2} V_а}{3600} = \frac{2520 \cdot 36}{3600} = 25{,}2 \text{ кВт.}$$

Изменение мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления дороги,

$$\frac{P_{\psi 2}}{P_{\psi 1}} = \frac{25{,}2}{2{,}8} = 9\,.$$

Ответ: $F_{\psi 2} = 2520$ Н; в 9 раз.

Пример 1.5. Грузовой автомобиль движется со скоростью 40 км/ч. Коэффициент сопротивления воздуха 0,75 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 7,4 м^2. Определить, во сколько раз изменятся сила и мощность сопротивления воздуха, если этот автомобиль с прицепом будет двигаться с максимальной скоростью 85 км/ч. Коэффициент сопротивления воздуха прицепного автопоезда на 25% больше, чем у одиночного грузового автомобиля.

Дано: $V_а$ = 40 км/ч; $k_в$ = 0,75 Н·с^2/м^4; $A_в$ = 7,4 м^2; V_{amax} = 85 км/ч; $k_{в.ап}$ = 1,25 $k_в$.

Определить: $\frac{F_{\text{в.ап}}}{F_{\text{в}}}$; $\frac{P_{\text{в.ап}}}{P_{\text{в}}}$.

Решение: При движении одиночного автомобиля со скоростью 40 км/ч:
– сила сопротивления воздуха

$$F_{\text{в}} = k_{\text{в}} A_{\text{в}} \left(\frac{V_{\text{а}}}{3{,}6} \right)^2 = 0{,}75 \cdot 7{,}4 \left(\frac{40}{3{,}6} \right)^2 = 685 \text{ Н};$$

– мощность сопротивления воздуха

$$P_{\text{в}} = \frac{k_{\text{в}} A_{\text{в}}}{1000} \left(\frac{V_{\text{а}}}{3{,}6} \right)^3 = \frac{0{,}75 \cdot 7{,}4}{1000} \left(\frac{40}{3{,}6} \right)^3 = 7{,}613 \text{ кВт}.$$

Коэффициент сопротивления воздуха автопоезда

$$k_{\text{в.ап}} = 1{,}25\, k_{\text{в}} = 1{,}25 \cdot 0{,}75 = 0{,}94 \text{ Н·с}^2/\text{м}^4.$$

При движении автопоезда со скоростью 85 км/ч:
– сила сопротивления воздуха

$$F_{\text{в.ап}} = k_{\text{в.ап}} A_{\text{в}} \left(\frac{V_{\text{а max}}}{3{,}6} \right)^2 = 0{,}94 \cdot 7{,}4 \left(\frac{85}{3{,}6} \right)^2 = 3878 \text{ Н};$$

– мощность сопротивления воздуха

$$P_{\text{в.ап}} = \frac{k_{\text{в.ап}} A_{\text{в}}}{1000} \left(\frac{V_{\text{а max}}}{3{,}6} \right)^3 = \frac{0{,}94 \cdot 7{,}4}{1000} \left(\frac{85}{3{,}6} \right)^3 = 91{,}56 \text{ кВт}.$$

Изменения:
– силы сопротивления воздуха

$$\frac{F_{\text{в.ап}}}{F_{\text{в}}} = \frac{3878}{685} = 5{,}66;$$

– мощности сопротивления воздуха

$$\frac{P_{\text{в.ап}}}{P_{\text{в}}} = \frac{91{,}56}{7{,}613} = 12.$$

Ответ: возрастут в 5,66 раза и в 12 раз.

Пример 1.6. Бензиновый двигатель развивает на стенде максимальную мощность 90 кВт при частоте вращения вала 5400 об/мин. Коэффициенты: коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; приспособляемости по крутящему моменту 1,17; приспособляемости по

угловой скорости 1,42. Определить действительные значения максимального крутящего момента и мощности на режиме максимального крутящего момента двигателя.

Дано: $P^{\text{с}}_{e\max} = 90$ кВт; n_{eP} = 5400 об/мин; $k_{\text{с}}$ = 0,9; k_T = 1,17; k_{ω} = 1,42.

Определить: $T_{e\max}$; P_{eT}.

Решение: Угловая скорость вала двигателя при максимальной мощности

$$\omega_{eP} = 0{,}105\, n_{eP} = 0{,}105 \cdot 5400 = 567 \text{ рад/с}.$$

Действительные параметры двигателя на режиме максимальной мощности:

– максимальная мощность

$$P_{e\max} = k_{\text{с}} P^{\text{с}}_{e\max} = 0{,}9 \cdot 90 = 81 \text{ кВт};$$

– крутящий момент при максимальной мощности

$$T_{eP} = \frac{P_{e\max}}{\omega_{eP}} = \frac{81000}{567} = 142{,}9 \text{ Н·м}.$$

Угловая скорость вала двигателя при максимальном крутящем моменте

$$\omega_{eT} = \frac{\omega_{eP}}{k_{\omega}} = \frac{567}{1{,}42} = 399 \text{ рад/с}.$$

Действительные параметры двигателя на режиме максимального крутящего момента:

– максимальный крутящий момент

$$T_{e\max} = k_T T_{eP} = 1{,}17 \cdot 142{,}9 = 167{,}2 \text{ Н·м};$$

– мощность при максимальном крутящем моменте

$$P_{eT} = \frac{T_{e\max}\omega_{eT}}{1000} = \frac{167{,}2 \cdot 399}{1000} = 66{,}7 \text{ кВт}.$$

Ответ: $T_{e\max} = 167{,}2$ Н·м; $P_{eT} = 66{,}7$ кВт.

Пример. 1.7. Грузовой автомобиль классической компоновки с двухвальной карданной передачей движется на второй передаче. КПД: цилиндрической зубчатой пары 0,98; конический зубчатой пары 0,97; карданного шарнира 0,995; роликового конического подшипника с преднатя-

гом 0,985. Определить КПД трансмиссии. Гидравлическими потерями при малой скорости движения пренебречь.

Дано: $\eta_{ц.п} = 0{,}98$; $k = 2$; $\eta_{к.ш} = 0{,}995$; $l = 3$; $\eta_{к.п} = 0{,}97$; $\eta_{р.п} = 0{,}985$.

Определить: $\eta_{тр}$.

Решение: КПД агрегатов трансмиссии:

– коробки передач на второй передаче, когда работают две цилиндрические зубчатые пары,

$$\eta_к = \eta_{ц.п}^k = 0{,}98^2 = 0{,}96;$$

– двухвальной карданной передачи с тремя карданными шарнирами

$$\eta_{к.п} = \eta_{к.ш}^l = 0{,}995^3 = 0{,}985;$$

– главной передачи, состоящей из конической зубчатой пары, установленной на роликовых конических подшипниках с преднатягом,

$$\eta_о = \eta_{к.п}\eta_{р.п} = 0{,}97 \cdot 0{,}985 = 0{,}955.$$

Коэффициент, учитывающий потери на трение,

$$\eta_н = \eta_к\eta_{к.п}\eta_о = 0{,}96 \cdot 0{,}985 \cdot 0{,}955 = 0{,}903.$$

Без учёта гидравлических потерь

$$\eta_{тр} = \eta_н = 0{,}903.$$

Ответ: $\eta_{тр} = 0{,}903$.

Пример 1.8. Грузовой автомобиль при движении со скоростью 36 км/ч разгоняется с ускорением 0,5 м/с^2. Стендовая мощность двигателя 62,5 кВт; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,96; коэффициент, учитывающий ускорение вала двигателя, 0,0013 с^2/рад; момент инерции вращающихся частей двигателя 0,285 кг·м^2; радиус качения ведущих колёс 0,4 м; передаточные числа: коробки передач 1,51, главной передачи 6,25; КПД трансмиссии 0,89. Определить тяговую мощность автомобиля.

Дано: $V_а = 36$ км/ч; $a_а = 0{,}5$ м/с^2; $P_e^с = 62{,}5$ кВт; $k_с = 0{,}96$; $\gamma_e = 0{,}0013$ с^2/рад; $J_e = 0{,}285$ кг·м^2; $r_к = 0{,}4$ м; $u_к = 1{,}51$; $u_0 = 6{,}25$; $\eta_{тр} = 0{,}89$.

Определить: $P_т$.

Решение: Кинематические параметры вращения вала двигателя:

– угловая скорость

$$\omega_e = \frac{V_а u_к u_0}{3{,}6 r_к} = \frac{36 \cdot 1{,}51 \cdot 6{,}25}{3{,}6 \cdot 0{,}4} = 236 \text{ рад/с};$$

– угловое ускорение

$$\varepsilon_e = \frac{a_а u_к u_0}{r_к} = \frac{0{,}5 \cdot 1{,}51 \cdot 6{,}25}{0{,}4} = 11{,}8 \text{ рад/с}^2.$$

Тяговая мощность автомобиля

$$P_т = \left[k_c P_e^c - \frac{\left(k_c T_e^c \gamma_e + J_e\right)\varepsilon_e \omega_e}{1000} \right] \eta_{тр} = \left[k_c P_e^c - \left(k_c P_e^c \gamma_e \varepsilon_e + \frac{J_e \varepsilon_e \omega_e}{1000} \right) \right] \eta_{тр} =$$

$$= \left[0{,}96 \cdot 62{,}5 - \left(0{,}96 \cdot 62{,}5 \cdot 0{,}0013 \cdot 11{,}8 + \frac{0{,}285 \cdot 11{,}8 \cdot 236}{1000} \right) \right] 0{,}89 = 51{,}9 \text{ кВт}.$$

Ответ: $P_т$ = 51,9 кВт.

Пример 1.9. Полная масса автопоезда 42 т; передаточные числа трансмиссии на передачах: низшей 55,2, высшей 5,1; КПД трансмиссии 0,84; статический радиус колёс 0,53 м; радиус качения колёс на 4% больше статического; момент инерции вращающихся частей двигателя 2,5 кг·м^2; момент инерции колеса 20,6 кг·м^2; число колёс автопоезда 20. Найти коэффициент учёта вращающихся масс автопоезда на низшей и высшей передачах трансмиссии и рассчитать, на сколько процентов изменятся их величины при движении автопоезда без груза. Масса автопоезда в снаряжённом состоянии 15,6 т.

Дано: $m_а$ = 42 т; $u_{тр.н}$ = 55,2; $u_{тр.в}$ = 5,1; $\eta_{тр}$ = 0,84; $r_{ст}$ = 0,53 м; $r_к$ = 1,04 $r_{ст}$; J_e = 2,5 кг·м^2; $J_к$ = 20,5 кг·м^2; $n_к$ = 20; m_0 = 15,6 т.

Определить: $\delta_{н.а}$; $\delta_{в.а}$; $\Delta\delta_н$; $\Delta\delta_в$.

Решение: Радиусы колёс:

– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}53 \text{ м};$$

– качения

$$r_к = 1{,}04\, r_{ст} = 1{,}04 \cdot 0{,}53 = 0{,}551 \text{ м}.$$

Коэффициенты в формуле коэффициента учёта вращающихся масс автопоезда с полной нагрузкой

$$\sigma_{1а} = \frac{J_e \eta_{тр}}{m_а r_д r_к} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}84}{42000 \cdot 0{,}53 \cdot 0{,}551} = 0{,}000171\,;$$

$$\sigma_{2а} = \frac{\sum J_к}{m_а r_д r_к} = \frac{20{,}5 \cdot 20}{42000 \cdot 0{,}53 \cdot 0{,}551} = 0{,}03359\,.$$

Коэффициенты учёта вращающихся масс автопоезда с полной нагрузкой на передачах трансмиссии:

– низшей

$$\delta_{н.а} = 1 + \sigma_{1а} u_{тр.н}^2 + \sigma_2 = 1 + 0{,}000171 \cdot 55{,}2^2 + 0{,}03359 = 1{,}555\,;$$

– высшей

$$\delta_{в.а} = 1 + \sigma_{1а} u_{тр.в}^2 + \sigma_2 = 1 + 0{,}000171 \cdot 5{,}1^2 + 0{,}03359 = 1{,}038\,.$$

Коэффициенты в формуле коэффициента учёта вращающихся масс автопоезда без нагрузки

$$J_e \eta_{тр} = \sigma_{1а} m_а r_д r_к = \sigma_{10} m_0 r_д r_к\,,$$

откуда

$$\sigma_{10} = \frac{\sigma_{1а} m_а}{m_0} = \frac{0{,}000171 \cdot 42}{15{,}6} = 0{,}00046\,;$$

$$\sum J_к = \sigma_{2а} m_а r_д r_к = \sigma_{20} m_0 r_д r_к\,,$$

откуда

$$\sigma_{20} = \frac{\sigma_{2а} m_а}{m_0} = \frac{0{,}03359 \cdot 42}{15{,}6} = 0{,}09043\,.$$

Коэффициенты учёта вращающихся масс автопоезда без нагрузки на передачах трансмиссии:

– низшей

$$\delta_{н0} = 1 + \sigma_{10} u_{тр.н}^2 + \sigma_{20} = 1 + 0{,}00046 \cdot 55{,}2^2 + 0{,}09043 = 2{,}492\,;$$

– высшей

$$\delta_{в0} = 1 + \sigma_{10} u_{тр.в}^2 + \sigma_{20} = 1 + 0{,}00046 \cdot 5{,}1^2 + 0{,}09043 = 1{,}102\,.$$

Изменения величин коэффициента учёта вращающихся масс на передачах трансмиссии:

– низшей

$$\Delta\delta_{н} = \frac{\delta_{н0} - \delta_{н.а}}{\delta_{н.а}} 100 = \frac{2{,}492 - 1{,}555}{1{,}555} 100 = 60\,\%;$$

$$\Delta\delta_{в} = \frac{\delta_{в0} - \delta_{в.а}}{\delta_{в.а}} 100 = \frac{1{,}102 - 1{,}038}{1{,}038} 100 = 6\,\%.$$

Ответ: $\delta_{н.а} = 1{,}555$; $\delta_{в.а} = 1{,}038$; увеличится на 60%; увеличится на 6%.

Пример 1.10. Грузовой автомобиль повышенной проходимости преодолевает максимальный подъём с уклоном 60%. Полная масса автомобиля 5770 кг; расстояния от центра масс: до передней и задней осей 1,75 м и 1,55 м соответственно, до поверхности дороги 1,15 м; коэффициент сопротивления качению 0,04; статический радиус колёс 0,505 м. Определить коэффициенты изменения нормальных реакций.

Дано: i = 60%; $m_а$ = 5770 кг; a = 1,75 м; b = 1,55 м; h_g = 1,15 м; f = 0,04; $r_{ст}$ = 0,505 м.

Определить: m_{R1}; m_{R2}.

Решение: Угол подъёма

$$\alpha = \text{arctg}\, i = \text{arctg}\left(\frac{60}{100}\right) = 31°;\ \sin 31° = 0{,}515;\ \cos 31° = 0{,}857.$$

База автомобиля

$$L = a + b = 1{,}75 + 1{,}55 = 3{,}3 \text{ м}.$$

Динамический радиус колёс

$$r_д = r_{ст} = 0{,}505 \text{ м}.$$

Динамические нормальные реакции, действующие на колёса:

– передние

$$\sum R_{z1} = \frac{G_н b - \sum T_f - F_i h_g}{L} = \frac{G_а b \cos\alpha - f r_д G_а \cos\alpha - G_а h_g \sin\alpha}{L} =$$

$$= \frac{G_а}{L}\left(b\cos\alpha - f r_д \cos\alpha - h_g \sin\alpha\right) = \frac{5770 \cdot 9{,}81}{3{,}3}\left(1{,}55 \cdot 0{,}857 -\right.$$

$$\left. - 0{,}04 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}857 - 1{,}15 \cdot 0{,}515\right) = 12303 \text{ Н};$$

– задние

$$\sum R_{z2} = \frac{G_{н}a + \sum T_f + F_i h_g}{L} = \frac{G_{а}a\cos\alpha + fr_{д}G_{а}\cos\alpha + G_{а}h_g\sin\alpha}{L} =$$

$$= \frac{G_{а}}{L}\left(a\cos\alpha + fr_{д}\cos\alpha + h_g\sin\alpha\right) = \frac{5770\cdot 9{,}81}{3{,}3}\left(1{,}75\cdot 0{,}857 +\right.$$

$$\left. + 0{,}04\cdot 0{,}55\cdot 0{,}857 + 1{,}15\cdot 0{,}515\right) = 36207 \text{ Н}.$$

Статические нагрузки на колёса:

– передние

$$G_{а1} = \frac{G_{а}b}{L} = \frac{5770\cdot 9{,}81\cdot 1{,}55}{3{,}3} = 26587 \text{ Н};$$

– задние

$$G_{а2} = \frac{G_{а}a}{L} = \frac{5770\cdot 9{,}81\cdot 1{,}75}{3{,}3} = 30017 \text{ Н}.$$

Коэффициенты изменения нормальных реакций, действующих на колёса:

– передние

$$m_{R1} = \frac{\sum R_{z1}}{G_{а1}} = \frac{12303}{26587} = 0{,}46;$$

– задние

$$m_{R2} = \frac{\sum R_{z2}}{G_{а2}} = \frac{36207}{30017} = 1{,}21.$$

Ответ: m_{R1} = 0,46; m_{R2} = 1,21.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.1. Определить свободный и статический радиусы колеса, оснащённого шиной 205/70R15, если коэффициент нормальной деформации шины 0,84.

Задача 1.2. Колесо грузового автомобиля с шиной 14,00–20Р за 20 оборотов прошло путь 73 м. Определить радиус качения колеса. Коэффициент нормальной деформации шины 0,86. На сколько процентов отличается полученный по результатам эксперимента радиус качения от статического радиуса?

Задача 1.3. Радиус качения ведущего колеса равен 0,55 м при подведении к нему тягового момента 3 кН·м. Коэффициент тангенциальной эластичности шины 0,00475 м/(кН·м). Чему равен радиус качения тормозящего колеса при подведении к нему вдвое большего тормозного момента?

Задача 1.4. Кинематические радиусы ведущего и тормозящего колёс 0,15 м и 0,7 м соответственно. Радиус качения свободного колеса 0,4 м. Найти коэффициенты буксования ведущего и скольжения тормозящего колёс.

Задача 1.5. Грузовой автомобиль движется со скоростью 40 км/ч при частоте вращения вала двигателя 2500 об/мин. Радиус качения колёс в свободном режиме 0,45 м; передаточные числа: коробки передач 1,00, главной передачи 7,15. Определить коэффициент буксования ведущих колёс автомобиля.

Задача 1.6. Грузовой автомобиль движется на участке дороги длиной 2 км на третьей передаче со скоростью 30 км/ч и на четвёртой передаче со скоростью 40 км/ч. Передаточные числа: коробки передач на третьей и четвёртой передачах 2,54 и 1,41 соответственно, главной передачи 6,81; радиус качения ведущих колёс 0,483 м. Определить числа оборотов и частоты вращения вала двигателя при движении на третьей и четвёртой передачах.

Задача 1.7. У грузового автомобиля повышенной проходимости передаточные числа агрегатов трансмиссии: первой и пятой ступеней коробки передач 6,27 и 0,77, низшей и высшей ступеней раздаточной коробки 1,94 и 1,25, главной передачи 7,95; радиус качения колёс 0,585 м; минимальная и максимальная частоты вращения вала двигателя 860 об/мин и 3240 об/мин. Определить минимальную и максимальную скорости движения автомобиля.

Задача 1.8. Легковой и грузовой автомобили движутся с одинаковыми скоростями при включённых прямых передачах в коробках передач. Передаточные числа главных передач составляют 3,9 и 8,05; радиусы качения колёс – 0,31 м и 0,522 м соответственно. У какого автомобиля угловая скорость коленчатого вала выше и на сколько процентов?

Задача 1.9. У легкового автомобиля передаточное число главной передачи 3,9; статический радиус колёс с диагональными шинами 0,305 м. Каким должно быть передаточное число главной передачи при установке на автомобиль радиальных шин со статическим радиусом 0,292 м, чтобы максимальная скорость автомобиля при одной и той же частоте вращения вала двигателя не изменилась. Радиусы качения диагональных и радиальных шин больше их статических радиусов на 2% и 4% соответственно.

Задача 1.10. Легковой автомобиль движется на повышающей передаче с передаточным числом 0,75 со скоростью 150 км/ч. Передаточное число главной передачи 3,85; размер шин 195/65R14; коэффициент нормальной деформации шин 0,82. Определить угловую скорость коленчатого вала двигателя.

Задача 1.11. Максимальная скорость легкового автомобиля при движении на четвёртой прямой передаче 165 км/ч. Передаточные числа агрегатов трансмиссии: первой, второй, третьей ступеней коробки передач 3,67; 2,14; 1,41 соответственно; главной передачи 3,9; радиус качения ведущих колёс 0,305 м. Найти максимальные скорости движения автомобиля на первой, второй, третьей передачах и частоту вращения вала двигателя на этих режимах.

Задача 1.12. Автобус движется на первой передаче со скоростью 7,5 км/ч при частоте вращения вала двигателя 1750 об/мин. Передаточные числа: коробки передач 6,75, главной передачи 6,91. Определить радиус качения ведущих колёс.

Задача 1.13. Самосвал разгоняется на второй передаче с ускорением 0,72 м/с^2 при угловом ускорении вала двигателя 48 рад/с^2. На самосвале установлены тороидные шины 210–20Р, у которых коэффициент нормальной деформации 0,9. Передаточное число коробки передач 4,1. Найти передаточное число главной передачи.

Задача 1.14. При разгоне легкового автомобиля на второй передаче угловое ускорение вала двигателя 60 рад/с^2. Передаточные числа: коробки передач 2,41, главной передачи 4,1; радиус качения колёс 0,295 м. Определить ускорение разгона автомобиля.

Задача 1.15. При разгоне автобуса угловые ускорения коленчатого вала двигателя на первой, второй и третьей передачах 160 рад/с^2; 85 рад/с^2 и 51 рад/с^2 соответственно. Передаточные числа: первой, второй и третьей передач коробки передач 6,88; 4,05 и 2,7 соответственно; главной передачи 7,61; шины 295/70R22,5; коэффициент нормальной деформации шин 0,83. На какой передаче автобус может разогнаться с ускорением 1,31 м/с^2?

Задача 1.16. Автобус разгоняется на первой передаче с ускорением 3 м/с^2. Передаточные числа: коробки передач 3,97, главной передачи 3,9; шины 205/70R15; коэффициент нормальной деформации шин 0,82. Найти угловое ускорение вала двигателя.

Задача 1.17. Ведомое колесо катится по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,012. Нормальная нагрузка на колесо составляет 6 кН; статический радиус колеса 0,31 м; момент инерции колеса 0,92 кг·м^2. С каким угловым ускорением будет вращаться колесо при приложении к его оси толкающей силы 180 Н?

Задача 1.18. Ведущее колесо катится с постоянной скоростью при подведении к нему крутящего момента 1300 Н·м. Нормальная нагрузка на

колесо 15,4 кН; продольный снос нормальной реакции дороги 9,5 мм; статический радиус колеса 0,461 м. Рассчитать силу тяги колеса.

Задача 1.19. Чтобы ведомое колесо, нагруженное нормальной силой 300 кН, катилось с постоянной скоростью, необходимо приложить к его оси толкающую силу 3,6 кН. Динамический радиус колеса 1,22 м. Определить силовую составляющую коэффициента сопротивления качению и момент сопротивления качению.

Задача 1.20. Ведущее колесо, нагруженное нормальной силой 25 кН, создаёт силу тяги 0,6 кН при приложении к нему тягового момента 1,2 кН·м. Динамический радиус колеса 0,495 м; момент инерции колеса 18,5 кг·м^2; силовая составляющая коэффициента сопротивления качению 0,016. Найти угловое ускорение колеса.

Задача 1.21. Определить соотношение величин коэффициентов сопротивления качению при скоростях 200 км/ч и 100 км/ч для трёх типов шин, у которых этот параметр определяется следующими зависимостями: $f_1 = 0{,}012 + 0{,}003(0{,}01V_а)^2$; $f_2 = 0{,}012(1 + V_а/120)$; $f_3 = 0{,}012\left[1 + (0{,}003V_а)^2\right]$.

Задача 1.22. Коэффициент продольного сцепления зависит от скорости движения по закону $\varphi_{xV} = \varphi_{x0}\,(1 - 0{,}015V)$.Коэффициент продольного сцепления при скорости 7,5 м/с равен 0,75. Определить его величину при скорости 50 м/с.

Задача 1.23. Нагруженное нормальной силой 9 кН ведущее колесо со статическим радиусом 0,312 м планируют заставить катиться по размокшей грунтовой дороге с коэффициентом сопротивления дороги 0,23. Оценить возможность движения колеса в указанных дорожных условиях, если оно может передать максимальный по условию сцепления момент 0,55 кН·м.

Задача 1.24. Во сколько раз сила сопротивления качению колеса на скорости 160 км/ч больше этой силы на скорости 90 км/ч, если коэффициент сопротивления качению определяется зависимостью
$f = 0{,}012\left(1 + 0{,}00004V_а^2\right)$.

Задача 1.25. Для повышения топливной экономичности автомобиля ввиду ограниченности запаса топлива в его баке давление воздуха в шинах повысили в три раза до 0,6 МПа. Требуется рассчитать, на сколько процентов уменьшится сила сопротивления качению его колёс, если зависимость коэффициента сопротивления качению шин от давления воздуха $p_в$ (МПа) выражается формулой $f = 0{,}023 - 0{,}029\,p_в^2$.

Задача 1.26. Найти силу сопротивления качению автомобиля с колёсной формулой 4×2 и затрачиваемую на её преодоление мощность при передаче задними ведущими колёсами крутящего момента: а) 0,3 кН·м; б) 0,5 кН·м. Зависимость коэффициента сопротивления качению от подво-

димого к колесу крутящего момента показана на рис. 1.1. Скорость автомобиля 110 км/ч; массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 780 кг и 1100 кг.

Задача 1.27. Сила сопротивления качению автомобиля массой 7900 кг при движении по горизонтальной дороге 1,94 кН. Чему равен коэффициент сопротивления дороги при движении на подъёме с уклоном 25% и какую мощность необходимо подвести к ведущим колёсам при скорости движения автомобиля 18 км/ч?

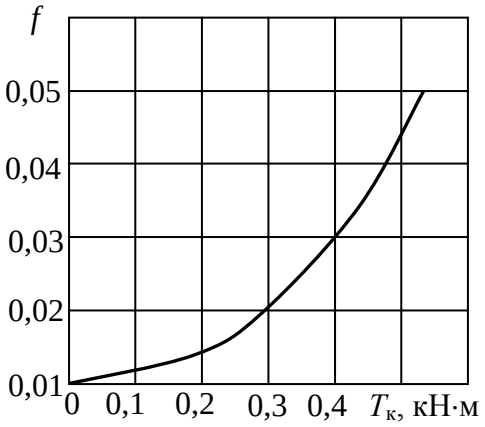


Рис. 1.1. Зависимость коэффициента сопротивления качению от крутящего момента

Задача 1.28. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению автопоезда массой 48 т при движении со скоростью 25 км/ч, равна 165 кВт. Определить уклон дороги, на котором суммарная сила сопротивления дороги при движении с малыми скоростями будет равна нулю.

Задача 1.29. При движении грузового автомобиля-фургона по трассе порывом ветра сорвало обтекатель, установленный на крыше кабины. Водитель заметил, что скорость движения упала на 10%, хотя он не менял положение педали управления подачей топлива. На сколько процентов изменилась величина коэффициента обтекаемости автомобиля, если пренебречь изменением силы сопротивления качению.

Задача 1.30. Расчетно-аналитическим способом было установлено, что размещение на верхнем багажнике легкового автомобиля большой картонной коробки приведёт к увеличению фактора обтекаемости на 25%. На сколько процентов уменьшится скорость автомобиля, если суммарная сила сопротивления его движению должна остаться неизменной. Изменением коэффициента сопротивления качению пренебречь.

Задача 1.31. Автомобиль движется со скоростью 90 км/ч по шоссе, вдоль которого дует ветер со скоростью 18 км/ч. Во сколько раз сила и

мощность сопротивления воздуха при встречном ветре больше, чем при попутном?

Задача 1.32. Бензиновый двигатель с распределённым впрыском развивает максимальную мощность 150 кВт при частоте вращения вала 6000 об/мин и максимальный крутящий момент 279 Н·м при частоте вращения вала 4000 об/мин. Найти коэффициенты приспособляемости двигателя по крутящему моменту и по угловой скорости.

Задача 1.33. Бензиновый карбюраторный двигатель развивает максимальную стендовую мощность 40 кВт при частоте вращения вала 5200 об/мин. Коэффициенты: коррекции стендовой характеристики 0,91; приспособляемости по крутящему моменту 1,21, по угловой скорости1,52. Определить действительные величины максимального крутящего момента и мощности на режиме максимального крутящего момента двигателя.

Задача 1.34. Дизельный двигатель развивает максимальную стендовую мощность 280 кВт при частоте вращения коленчатого вала 2340 об/мин. Коэффициенты в уравнении скоростной характеристики: a = 0,65; b = 1,09; c = 0,74; коэффициент приспособляемости по частоте вращения вала двигателя 1,4. Потери мощности при установке двигателя на автомобиль составляют 15%. Определить с погрешностью не более 1% максимальный крутящий момент и мощность на режиме максимального крутящего момента двигателя, установленного на автомобиле.

Задача 1.35. Бензиновый двигатель развивает максимальный крутящий момент 105 Н·м при частоте вращения вала 3500 об/мин. Коэффициенты в уравнении его скоростной характеристики: a = 0,4; b = 2,4; c = 1,8; коэффициент приспособляемости по угловой скорости 1,6. Рассчитать максимальную мощность двигателя и мощность на режиме максимального крутящего момента.

Задача 1.36. Дизельный двигатель развивает максимальный крутящий момент 705 Н·м при частоте вращения коленчатого вала 1700 об/мин. Коэффициенты приспособляемости двигателя: по крутящему моменту 1,16, по угловой скорости коленчатого вала 1,43. Рассчитать мощность при максимальном крутящем моменте и максимальную мощность двигателя.

Задача 1.37. При скорости движения легкового автомобиля 72 км/ч с ускорением 0,8 м/с^2 к ведущим колёсам подводится мощность 37 кВт. Мощность двигателя, развиваемая на этом режиме, 40 кВт; момент инерции его вращающихся частей 0,125 кг·м^2; передаточное число трансмиссии 4,15; радиус качения колёс 0,29 м. Определить КПД трансмиссии.

Задача 1.38. Двигатель развивает на стенде мощность 120 кВт; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,91; КПД агрегатов трансмиссии: коробки передач 0,97; карданной передачи 0,985;

ведущего моста 0,94. Определить мощность потерь в трансмиссии автомобиля.

Задача 1.39. В трансмиссии грузового автомобиля с колёсной формулой 4×2 установлены коробка передач, карданная передача и задний ведущий мост, КПД которых соответственно равны 0,96; 0,985 и 0,95. В трансмиссии грузового автомобиля с колёсной формулой 4×4 дополнительно установлены раздаточная коробка, КПД которой 0,96, карданная передача привода переднего моста, КПД которой 0,985, и передний ведущий мост, имеющий шарниры равных угловых скоростей, КПД которого 0,93. Крутящий момент по ведущим мостам распределяется поровну. Потерями момента, зависящими от скорости движения, пренебречь. На сколько процентов КПД трансмиссии грузового автомобиля с колёсной формулой 4×2 выше, чем КПД трансмиссии автомобиля с колёсной формулой 4×4?

Задача 1.40. Рассчитать КПД трансмиссии легкового переднеприводного автомобиля, в которой крутящий момент от двигателя подводится к ведущим колёсам через две пары цилиндрических шестерён коробки передач и главной передачи (КПД одной зубчатой пары 0,98), два шарнира полуосей (КПД шарнира 0,99) и через два шарнира равных угловых скоростей передних ведущих колёс (КПД шарнира вместе с подшипниками ступицы 0,975).

Задача 1.41. Определить КПД трансмиссии легкового автомобиля классической компоновки при движении на прямой передаче в коробке передач. КПД коробки передач при включённой прямой передаче 0,985; карданного шарнира 0,993 двухвальной карданной передачи; ведущего моста 0,96.

Задача 1.42. Развиваемая на стенде максимальная мощность двигателя грузового автомобиля равняется 130 кВт при частоте вращения коленчатого вала 3300 об/мин. Установка его на автомобиль привела к потерям в 11%. При передаче крутящего момента на колёса с угловым ускорением вращения коленчатого вала 30 рад/с^2 коэффициент потерь составил 0,001 с^2/рад. Момент инерции вращающихся частей двигателя 0,65 кг·м^2. Передаточные числа агрегатов трансмиссии: коробки передач 1,42, главной передачи 6,17. КПД трансмиссии 0,88. Определить величину крутящего момента, подведённого к ведущим колесам.

Задача 1.43. Максимальная мощность двигателя, установленного на автомобиль повышенной проходимости, составляет 160 кВт при частоте вращения вала 2800 об/мин. Коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту 1,16; передаточные числа: первой передачи коробки передач 6,07, дополнительной передачи 1,85, главной передачи 7,32. КПД трансмиссии 0,81; динамический радиус колёс 0,54 м. Рассчитать максимальную тяговую силу на ведущих колёсах.

Задача 1.44. К ведущим колёсам автопоезда, движущегося со скоростью 24 км/ч и ускорением 0,5 м/с^2, подводится мощность 106 кВт. Момент инерции вращающихся частей двигателя 2,3 кг·м^2; передаточные числа: коробки передач 2,72, главной передачи 7,21; КПД трансмиссии 0,86; радиус качения колёс 0,52 м. Определить стендовую мощность двигателя для этого скоростного режима, если подкапотные потери составляют 12%.

Задача 1.45. Малый коммерческий грузовой автомобиль движется на второй передаче со скоростью 25 км/ч и ускорением 0,65 м/с^2. Действительная мощность двигателя 52 кВт; КПД трансмиссии 0,91; передаточные числа: коробки передач 2,81, главной передачи 5,125; момент инерции вращающихся частей двигателя 0,305 кг·м^2; коэффициент, учитывающий ускорение вращения коленвала, 0,0016 с^2/рад; радиус качения колёс 0,36 м. Определить мощность на ведущих колёсах автомобиля.

Задача 1.46. Двигатель автобуса развивает мощность 101 кВт при движении на прямой передаче в коробке передач со скоростью 80 км/ч. Частота вращения вала двигателя 2650 об/мин; передаточное число главной передачи 6,85; КПД трансмиссии 0,88. Определить тяговую силу на ведущих колёсах автобуса.

Задача 1.47. Двигатель автомобиля развивает мощность 45 кВт при движении на третьей передаче со скоростью 25 км/ч и ускорением 0,35 м/с^2. Передаточные числа: коробки передач 2,64, главной передачи 5,125; КПД трансмиссии 0,88; момент инерции вращающихся деталей двигателя 0,275 кг·м^2; потери, связанные с ухудшением наполнения двигателя при разгоне, 0,3%; радиус качения колёс 0,36 м. Определить мощность, подводимую к ведущим колёсам автомобиля.

Задача 1.48. Легковой автомобиль полной массой 1445 кг движется со скоростью 144 км/ч по дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,8 и коэффициентом сопротивления качению 0,028. В статическом положении на заднюю ведущую ось автомобиля приходится 52% полной массы. Коэффициент обтекаемости 0,4; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь поперечного сечения кузова 1,68 м^2; высота центра парусности 0,7 м; динамический радиус колёс 0,3 м; база автомобиля 2,42 м. Определить максимальную тяговую силу на ведущих колёсах по условию их сцепления с дорогой.

Задача 1.49. Автобус полной массой 10880 кг движется по горизонтальному участку дороги со скоростью 36 км/ч и ускорением 1 м/с^2. Расстояние центра масс от передней оси 2,75 м, от задней оси 1,45 м, от поверхности дороги 1,5 м. Коэффициент сопротивления воздуха 0,37 Н·с^2/м^4, площадь миделева сечения 6,6 м^2, высота центра парусности 1,7 м. Статический радиус колёс 0,5 м; коэффициент сопротивления качению 0,02.

Рассчитать максимальную тяговую силу на задних ведущих колёсах при коэффициенте продольного сцепления 0,3.

Задача 1.50. Легковой автомобиль полной массой 1450 кг движется со скоростью 120 км/ч. Коэффициент сопротивления качению 0,025, коэффициент продольного сцепления 0,7. Статическая развесовка по осям 47:53, ведущая ось задняя. Коэффициент обтекаемости автомобиля 0,36, плотность воздуха 1,225 кг/м^3, площадь миделя 1,78 м^2, высота центра парусности 0,6 м. Динамический радиус колёс 0,29 м, база автомобиля 2,5 м. Рассчитать максимальную по сцеплению тяговую силу на ведущих колёсах.

Задача 1.51. Автобус массой 7800 кг разгоняется с максимальным ускорением 2,9 м/с^2. Координаты центра масс: расстояние до передней оси 2,44 м, до задней оси 1,16 м, до поверхности дороги 1,5 м. Чему равна максимальная тяговая сила на колёсах задней ведущей оси при коэффициенте продольного сцепления 0,6?

Задача 1.52. Масса грузового автомобиля 7850 кг; момент инерции вращающихся деталей двигателя 0,55 кг·м^2; суммарный момент инерции всех колёс 53,2 кг·м^2; КПД трансмиссии 0,88; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,457 м; передаточные числа: первой передачи коробки передач 6,55, главной передачи 6,17. На сколько процентов коэффициент учёта вращающихся масс грузового автомобиля на первой передаче коробки передач больше, чем на прямой?

Задача 1.53. Коэффициент учёта вращающихся масс грузового автомобиля с полной нагрузкой на первой передаче коробки передач 1,81, на второй передаче – 1,28. Полная масса автомобиля 16380 кг; масса снаряжённого автомобиля 7950 кг; передаточные числа коробки передач: 5,26; 2,90; 1,52; 1,00; 0,66. Определить коэффициенты учёта вращающихся масс снаряжённого автомобиля на всех передачах коробки передач.

Задача 1.54. Масса автомобиля 1400 кг; момент инерции вращающихся частей двигателя 0,14 кг·м^2; момент инерции колеса 0,54 кг·м^2; КПД трансмиссии 0,93; статический радиус колёс 0,28 м; передаточные числа коробки передач: 3,77; 2,32; 1,49; 1,0; 0,78; главной передачи 3,866. Максимальные ускорения на передачах (в порядке их включения): 2,9 м/с^2; 2,2 м/с^2; 1,6 м/с^2; 1,05 м/с^2; 0,75 м/с^2. Определить максимальные силы сопротивления разгону легкового автомобиля на всех передачах механической коробки передач.

Задача 1.55. У переднеприводного легкового автомобиля на переднюю ось приходится 55% массы. Коэффициент продольного сцепления 0,4, коэффициент сопротивления качению 0,025. База автомобиля 2,5 м; высота центра масс 0,7 м; динамический радиус колёс 0,28 м. Какой максимальный подъём сможет преодолеть автомобиль по сцеплению ведущих колёс с дорогой?

Задача 1.56. Два автомобиля, один из которых имеет колёсную формулу 4×2, другой – 4×4, с одинаковой полной массой 3000 кг и равным её распределением по осям движутся по дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,5. Коэффициент изменения нормальных реакций на задние колёса обоих автомобилей равен 1,1. Определить, на сколько процентов максимальная тяговая сила на ведущих колёсах автомобиля с колёсной формулой 4×4 больше, чем у автомобиля с колёсной формулой 4×2.

Задача 1.57. По условию задачи 1.55 определить максимальный подъём, который может преодолеть заднеприводный автомобиль с равным распределением полной массы по осям.

Задача 1.58. По условиям задач 1.55 и 1.57 определить максимальные ускорения, которые могут развить при трогании с места на горизонтальной дороге переднеприводный и заднеприводный легковые автомобили, если коэффициенты учёта вращающихся масс равны 1,3 для переднеприводного и 1,35 для заднеприводного автомобилей.

Задача 1.59. Определить минимальную величину коэффициента продольного сцепления, при которой автобус массой 14050 кг с колёсной формулой 4×2 и задней ведущей осью будет двигаться без буксования ведущих колёс. База автобуса 5,15 м; расстояние от центра масс до передней оси 3 м; коэффициент изменения нормальных реакций на ведущие колёса 1,1; тяговая сила на ведущих колёсах 44,8 кН.

Задача 1.60. На переднеприводный легковой автомобиль массой 1485 кг установлен задний спойлер-антикрыло. Фактор обтекаемости автомобиля без спойлера 0,42 $Н·с^2/м^2$; вертикальная и горизонтальная аэродинамические силы на спойлере равны 0,5 V^2 и 0,1 V^2 соответственно; точка приложения аэродинамических сил расположена на высоте 1,1 м и удалена от оси задних колёс на 1 м. На переднюю ось автомобиля приходится 55% полной массы; база автомобиля 2,4 м; высота расположения центров масс и парусности 0,6 м и они совмещены друг с другом; коэффициент продольного сцепления 0,17; коэффициент сопротивления качению 0,013. Определить, может ли автомобиль при движении со скоростью 90 км/ч преодолеть подъём 3° без буксования ведущих колёс.

Задача 1.61. Порожний грузовой автомобиль с колёсной формулой 4×2, массой 3500 кг и базой 3,7 м резко трогается с места с максимальным использованием сцепления задних ведущих колёс с дорогой после предварительной раскрутки вала двигателя до частоты максимального крутящего момента. Расстояние от центра масс до передней оси автомобиля 2,8 м; высота центра масс от поверхности дороги 1,2 м; коэффициент учёта вращающихся масс 1,06; коэффициент сопротивления качению 0,015; динамический радиус колёс 0,35 м. Определить тяговую силу на ведущих

колёсах и максимальное ускорение разгона на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6.

Задача 1.62. Легковой автомобиль массой 1800 кг тормозит на спуске с уклоном 35% с замедлением 6 м/с^2. Расстояние центра масс от передней оси 1,36 м, от задней оси 1,29 м, от поверхности дороги 0,58 м. Определить нормальные динамические реакции на передние и задние колёса. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 1.63. Грузовой автомобиль повышенной проходимости с колёсной формулой 6×6 преодолевает максимальный подъём 58% с постоянной скоростью. Полная масса автомобиля 21475 кг, в том числе приходящаяся на тележку, 15155 кг; база 5,3 м; расстояние от центра масс до поверхности дороги 1,6 м; коэффициент сопротивления качению 0,04; статический радиус колёс 0,585 м. Найти нормальные динамические реакции на колёса каждой оси при условии, что нормальные реакции на колёса средней и задней осей распределяются поровну. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача 1.64. Автобус движется на горизонтальном участке дороги со скоростью 40 км/ч и ускорением 0,8 м/с^2. Масса автобуса 13400 кг; расстояния от центра масс: до передней оси 3,03 м, до задней оси 1,34 м, до поверхности дороги 1,55 м; коэффициент сопротивления воздуха 0,37 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 5,86 м^2; высота центра парусности 1,75 м; коэффициент сопротивления качению 0,02 ; статический радиус колёс 0,49 м. Определить коэффициенты измерения нормальных реакций на передние и задние колёса автобуса.

Задача 1.65. Грузовой автомобиль тормозит на горизонтальной дороге с максимальным замедлением 5 м/с^2. Масса автомобиля 3500 кг; база 2,9 м; расстояния от центра масс до передней оси и поверхности дороги 1,86 м и 0,9 м соответственно; коэффициент сопротивления качению 0,012; статический радиус колёс 0,33 м. Найти коэффициенты изменения нормальных реакций на передние и задние колёса. Сопротивлением воздуха пренебречь.

2. ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Силовой (тяговый) баланс автомобиля

Уравнение силового баланса (Н):

– в общем виде

$$F_т = F_f + F_i + F_в + F_a + F_{сх} = F_\psi + F_в + F_a + F_{сх}; \qquad (2.1)$$

– в развёрнутом виде при отсутствии буксования ведущих колёс

$$\frac{k_с T_e^с u_{тр} \eta_{тр}}{r_д} = fG_а \cos\alpha + G_а \sin\alpha + WV^2 + \delta m_а a_а + F_{сх} = \\ = \psi G_а + WV^2 + \delta m_а a_а + F_{сх}, \qquad (2.2)$$

где $F_т$ – тяговая сила на ведущих колёсах, Н; F_f – сила сопротивления качению, Н; F_i – сила сопротивления подъёму, Н; F_ψ – сила сопротивления дороги, Н; $F_в$ – сила сопротивления воздуха, Н; F_a – сила сопротивления разгону, Н; $F_{сх}$ – продольная сила в сцепном устройстве, Н; $k_с$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $T_e^с$ – эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; $r_д$ – динамический радиус ведущих колёс, м; f – коэффициент сопротивления качению; $G_а$ – вес автомобиля, Н; α – угол продольного уклона дороги, рад или град; W – фактор обтекаемости автомобиля, Н·с^2/м^2; V – скорость автомобиля, м/с; δ – коэффициент учёта вращающихся масс; $m_а$ – масса автомобиля, кг; $a_а$ – ускорение разгона автомобиля, м/с^2.

2. Мощностной баланс автомобиля

Уравнение мощностного баланса (кВт):

– в общем виде

$$P_т = P_f + P_i + P_в + P_a + P_{сх} = P_\psi + P_в + P_a + P_{сх}; \qquad (2.3)$$

– в развёрнутом виде

$$k_с P_e^с \eta_{тр}(1 - s_б) = \frac{fG_а V \cos\alpha + G_а V \sin\alpha + WV^3 + \delta m_а a_а V + F_{сх} V}{1000} = \\ = \frac{\psi G_а V \cos\alpha + G_а V \sin\alpha + WV^3 + \delta m_а a_а V + F_{сх} V}{1000}, \qquad (2.4)$$

где $P_e^{\text{с}}$ – эффективная стендовая мощность двигателя, кВт; $s_{\text{б}}$ – коэффициент буксования ведущих колёс.

3. Динамическая характеристика автомобиля

Динамический фактор автомобиля:

– в общем виде

$$D = \frac{F_{\text{св}}}{G_{\text{а}}} = \frac{F_{\text{т}} - F_{\text{в}}}{G_{\text{а}}}; \tag{2.5}$$

– в развёрнутом виде

$$D = \frac{\dfrac{k_{\text{с}} T_e^{\text{с}} u_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}} - WV^2}{m_{\text{а}} g}. \tag{2.6}$$

Динамический фактор по сцеплению:

– в общем виде

$$D_{\varphi} = \frac{F_{\text{т}\varphi}}{G_{\text{а}}}; \tag{2.7}$$

– в развёрнутом виде при $f << \varphi_x$

$$D_{\varphi} = \frac{\varphi_x \sum R_{z\text{вщ}}}{G_{\text{а}}} = \varphi_x k_{\text{сц}}; \tag{2.8}$$

– коэффициент сцепного веса

$$k_{\text{сц}} = \frac{\sum R_{z\text{вщ}}}{G_{\text{а}}}. \tag{2.9}$$

Уравнение силового баланса в безразмерном виде

$$D = \psi + \frac{\delta a_{\text{а}}}{g}, \tag{2.10}$$

где $F_{\text{св}}$ – свободная тяговая сила, Н; $F_{\text{т}\varphi}$ – тяговая сила по сцеплению колёс с дорогой, Н; φ_x – коэффициент продольного сцепления; $\sum R_{z\text{вщ}}$ – суммарная нормальная реакция на ведущие колёса, Н; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

4. Ускорения автомобиля при разгоне (м/с^2)

$$a_{\text{а}} = \frac{(D - \psi)g}{\delta}, \tag{2.11}$$

где D – динамический фактор автомобиля; ψ – коэффициент сопротивления дороги; g – ускорение свободного падения, м/с^2; δ – коэффициент учёта вращающихся масс.

5. Время разгона автомобиля

Время разгона (с):

– в i-м интервале изменения скорости

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{a_{\text{a}i\text{ср}}} = \frac{2(V_i - V_{i-1})}{a_{\text{a}(i-1)} + a_{\text{a}i}}; \tag{2.12}$$

– на j-й передаче

$$t_j = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_j; \tag{2.13}$$

– общее от минимальной $V_{\min}$ до максимальной $V_{\max}$ скорости

$$t = \sum_{j=1}^{m} t_j = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i + \sum_{j=1}^{m-1} t_{\text{п}}. \tag{2.14}$$

Потеря скорости за время переключения передач

$$\Delta V_{\text{п}} = \frac{\left(\psi G_{\text{а}} + WV^2 + F_{\text{тр}}\right)t_{\text{п}}}{\delta_{\text{п}} m_{\text{а}}}, \tag{2.15}$$

где ΔV_i – i-й интервал скоростей, м/с; $a_{\text{a}i\text{ср}}$ – среднее ускорение в i-м интервале скоростей, м/с^2; V_{i-1} и V_i – скорости в начале и конце i-го интервала, м/с; $a_{\text{a}(i-1)}$ и $a_{\text{a}i}$ – ускорения в начале и конце i-го интервала, м/с^2; n – число интервалов скоростей на j-й передаче; m – число передач в коробке передач; $t_{\text{п}}$ – время переключения с одной передачи на другую, с; ψ – коэффициент сопротивления дороги; $G_{\text{а}}$ – вес автомобиля, Н; W – фактор обтекаемости, Н·с^2/м^2; V – скорость автомобиля, м/с; $F_{\text{тр}}$ – сила сопротивления трансмиссии, Н; $\delta_{\text{п}} = 1{,}05$ – коэффициент учёта вращающихся масс при переключении передач; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг.

6. Путь разгона автомобиля

Путь разгона (м):

– в i-м интервале изменения скорости

$$\Delta S_i = V_{i\text{ср}} \Delta t_i = \frac{(V_{i-1} + V_i)(t_i - t_{i-1})}{2}; \qquad (2.16)$$

– на j-й передаче

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i; \qquad (2.17)$$

– общий от минимальной $V_{\min}$ до максимальной $V_{\max}$ скорости

$$S = \sum_{j=1}^{m} S_j = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i + \sum_{j=1}^{m-1} S_{\text{п}j}. \qquad (2.18)$$

Путь, пройденный автомобилем при переключении с j-й на (j + 1)-ю передачу,

$$S_{\text{п}\,j} = (V_{j\,\max} - 0{,}5\,\Delta V_{\text{п}})\, t_{\text{п}}, \qquad (2.19)$$

где $V_{i\text{ср}}$ – средняя скорость в i-м интервале, м/с; t_{i-1} и t_i – время разгона в начале и конце i-го интервала, с; n – число интервалов скоростей на j-й передаче; m – число передач в коробке передач; $V_{j\,\max}$ – максимальная скорость при разгоне на j-й передаче.

Примеры решения типовых задач

Пример 2.1. Грузовой автомобиль полной массой 15300 кг движется при скорости 36 км/ч с ускорением 0,2 м/с^2 по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,01. Коэффициент обтекаемости 0,78; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделя 4,5 м^2; коэффициент учёта вращающихся масс 1,056. Определить подъём, который может преодолеть автомобиль при подведении к ведущим колёсам тяговой силы, равной 7,95 кН.

Дано: $m_{\text{а}}$ = 15300 кг; $V_{\text{а}}$ = 36 км/ч; $a_{\text{а}}$ = 0,2 м/с^2; c_x = 0,78; $\rho_{\text{в}}$ = 1,225 кг/м^3; $A_{\text{в}}$ = 4,5 м^2; δ = 1,056; $F_{\text{т}}$ = 7,95 кН.

Определить: i %.

Решение: Силы, действующие на автомобиль:

– сила сопротивления воздуха

$$F_{в} = 0{,}5 c_x \rho_{в} A_{в} V^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}78 \cdot 1{,}225 \cdot 4{,}5 \cdot \left(\frac{36}{3{,}6}\right)^2 = 215 \text{ Н};$$

– сила сопротивления разгону

$$F_{а} = \delta m_{а} a_{а} = 1{,}056 \cdot 15300 \cdot 0{,}2 = 3231 \text{ Н}.$$

Параметры, характеризующие сопротивление дороги:
– сила сопротивления дороги из уравнения силового баланса

$$F_{\psi} = F_{т} - F_{в} - F_{a} = 7950 - 215 - 3231 = 4504 \text{ Н};$$

– коэффициент сопротивления дороги

$$\psi = \frac{F_{\psi}}{m_{а} g} = \frac{4504}{15300 \cdot 9{,}81} = 0{,}03.$$

Подъём

$$i = \psi - f = 0{,}03 - 0{,}01 = 0{,}02 = 2\,\%.$$

Ответ: i = 2 %.

Пример 2.2. Прицепной автопоезд движется с установившейся скоростью 72 км/ч на горизонтальном участке дороги с коэффициентом сопротивления качению 0,015. Двигатель развивает мощность 119 кВт; КПД трансмиссии 0,85; фактор обтекаемости 4,9 Н·с^2/м^2; масса автомобиля-тягача 15 т. Определить массу прицепа.

Дано: $V_а$ = 72 км/ч = const; α = 0; f = 0,015; P_e = 119 кВт; $\eta_{тр}$ = 0,85; W = 4,9 Н·с^2/м^2; $m_т$ = 15 т.

Определить: $m_{пр}$.

Решение: Составляющие мощностного баланса автопоезда:
– тяговая мощность

$$P_{т} = P_e \eta_{тр} = 119 \cdot 0{,}85 = 101{,}15 \text{ кВт};$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъёму, при α = 0

$$P_i = \frac{m_{ап} g V \sin\alpha}{1000} = 0 \text{ кВт};$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха,

$$P_{\text{в}} = \frac{WV^3}{1000} = \frac{4{,}9}{1000}\left(\frac{72}{3{,}6}\right)^3 = 39{,}2 \text{ кВт};$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону, при $V_{\text{а}}$ = const и $a_{\text{а}} = 0$

$$P_{\text{а}} = \frac{\delta m_{\text{ап}} a_{\text{а}} V}{1000} = 0 \text{ кВт};$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению, из уравнения мощностного баланса

$$P_f = P_{\text{т}} - P_i - P_{\text{в}} - P_a = 101{,}15 - 39{,}2 = 61{,}95 \text{ кВт}.$$

Массы:

– из формулы мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления качению, $P_f = fG_{\text{ап}}V = fm_{\text{ап}}gV$ масса автопоезда

$$m_{\text{ап}} = \frac{P_f}{fgV} = \frac{61{,}95 \cdot 3{,}6}{0{,}015 \cdot 9{,}81 \cdot 72} = 21 \text{ т};$$

– из выражения $m_{\text{ап}} = m_{\text{т}} + m_{\text{пр}}$ масса прицепа

$$m_{\text{пр}} = m_{\text{ап}} - m_{\text{т}} = 21 - 15 = 6 \text{ т}.$$

Ответ: $m_{\text{пр}}$ = 6 т.

Пример 2.3. Грузовой автомобиль, имеющий полную массу 16 т, движется равномерно на прямой передаче в коробке передач со скоростью 90 км/ч по горизонтальной дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,025. Чему будет равен динамический фактор автомобиля, если водитель включит третью передачу в коробке передач. Фактор обтекаемости автомобиля составляет 4,5 Н·с^2/м^2; передаточное число третьей передачи 1,48. Режим работы двигателя на передачах остаётся неизменным.

Дано: $m_{\text{а}}$ = 16 т; $V_{\text{а.п}}$ = 90 км/ч = const; f = 0,025; W = 4,9 Н·с^2/м^2; $u_{\text{кIII}}$ = 1,48; $T_{e\text{п}} = T_{e\text{III}}$; $n_{e\text{п}} = n_{e\text{III}}$.

Определить: D_{III}.

Решение: Силы, действующие на автомобиль при движении на прямой передаче:

– сила сопротивления качению

$$F_f = fG_{\text{а}} = fm_{\text{а}}g = 0{,}025 \cdot 16000 \cdot 9{,}81 = 3924 \text{ Н};$$

– сила сопротивления воздуха

$$F_{\text{в.п}} = WV_{\text{п}}^2 = 4{,}5\left(\frac{90}{3{,}6}\right)^2 = 2813 \text{ Н};$$

– сила сопротивления разгону при $V_{\text{а.п}}$ = const и $a_{\text{а}} = 0$

$$F_a = \delta m_{\text{а}} a_{\text{а}} = 0 \text{ Н};$$

– тяговая сила на ведущих колёсах из уравнения силового баланса

$$F_{\text{т.п}} = F_f + F_{\text{в.п}} + F_a = 3924 + 2813 + 0 = 6737 \text{ Н}.$$

Параметры автомобиля при движении на третьей передаче:

– КПД трансмиссии при передаче крутящего момента через две пары цилиндрических шестерён

$$\eta_{\text{трIII}} = 0{,}98^2 \eta_{\text{тр.п}} = 0{,}96\eta_{\text{тр.п}};$$

– тяговая сила на ведущих колёсах

$$F_{\text{т.п}} = \frac{T_{e\text{п}} u_{\text{к.п}} u_0 \eta_{\text{тр.п}}}{r_{\text{д}}}; \; F_{\text{тIII}} = \frac{T_{e\text{III}} u_{\text{кIII}} u_0 \eta_{\text{трIII}}}{r_{\text{д}}},$$

откуда при $T_{e\text{п}} = T_{e\text{III}}$

$$F_{\text{тIII}} = \frac{F_{\text{т.п}} u_{\text{кIII}} \eta_{\text{трIII}}}{u_{\text{к.п}} \eta_{\text{тр.п}}} = 6737 \cdot 1{,}48 \cdot 0{,}96 = 9572 \text{ Н};$$

– скорость автомобиля

$$V_{\text{а.п}} = \frac{0{,}105 n_{e\text{п}} r_{\text{к}}}{u_{\text{к.п}} u_0}; \; V_{\text{аIII}} = \frac{0{,}105 n_{e\text{III}} r_{\text{к}}}{u_{\text{кIII}} u_0}$$

откуда при $n_{e\text{п}} = n_{e\text{III}}$

$$V_{\text{аIII}} = \frac{V_{\text{а.п}} u_{\text{к.п}}}{u_{\text{кIII}}} = \frac{90}{1{,}48} = 60{,}8 \text{ км/ч};$$

– сила сопротивления воздуха

$$F_{\text{вIII}} = WV_{\text{III}}^2 = 4{,}5\left(\frac{60{,}8}{3.6}\right)^2 = 1284 \text{ Н};$$

– динамический фактор

$$D_{\text{III}} = \frac{F_{\text{тIII}} - F_{\text{вIII}}}{G_{\text{а}}} = \frac{9572 - 1284}{16000 \cdot 9{,}81} = 0{,}053\,.$$

Ответ: $D_{\text{III}} = 0{,}053$.

Пример 2.4. Грузовой автомобиль с колёсной формулой 4×2 резко трогается с места с использованием сцепления задних ведущих колёс с дорогой после предварительной раскрутки вала двигателя до частоты максимального крутящего момента. База автомобиля 3,4 м; расстояние от центра масс до задней оси 1,2 м; высота центра масс от поверхности дороги 1,5 м; коэффициент учёта вращающихся масс 1,07; коэффициент продольного сцепления 0,5; коэффициент сопротивления качению 0,017. Определить максимальное ускорение разгона.

Дано: $F_{\text{т}} = F_{\text{тφ}}$; $L = 3{,}4$ м; $b = 1{,}2$ м; $h_{\text{g}} = 1{,}5$ м; $\delta = 1{,}07$; $\varphi_x = 0{,}5$; $f = 0{,}017$.

Определить: a_{amax}.

Решение: Расстояние от центра масс до передней оси

$$a = L - b = 3{,}4 - 1{,}2 = 2{,}2 \text{ м.}$$

Суммарная нормальная реакция на задние ведущие колёса

$$\sum R_{z2} = \frac{G_{\text{а}} a + F_{ax} h_g}{L} = \frac{m_{\text{а}} g a + m_{\text{а}} a_{\text{а max}} h_g}{L} = \frac{m_{\text{а}}\left(g a + a_{\text{а max}} h_g\right)}{L} =$$
$$= \frac{m_{\text{а}}\left(9{,}81 \cdot 2{,}2 + 1{,}5 a_{\text{а max}}\right)}{3{,}4} = \left(6{,}348 + 0{,}441 a_{\text{а max}}\right) m_{\text{а}} \text{ Н;}$$

Тяговая сила по сцеплению

$$F_{\text{тφ}} = \left(\varphi_x + f\right)\sum R_{z2} = \left(0{,}5 + 0{,}017\right)\left(6{,}348 + 0{,}441 a_{\text{а max}}\right) m_{\text{а}} =$$
$$= \left(3{,}282 + 0{,}228 a_{\text{а max}}\right) m_{\text{а}} \text{ Н.}$$

Динамический фактор по сцеплению

$$D_{\varphi} = \frac{F_{\text{тφ}}}{G_{\text{а}}} = \frac{\left(3{,}282 + 0{,}228 a_{\text{а max}}\right) m_{\text{а}}}{9{,}81 m_{\text{а}}} = 0{,}335 + 0{,}0232\, a_{\text{а max}}\,.$$

Максимальное ускорение разгона

$$a_{\text{а max}} = \frac{\left(D_{\varphi} - f\right) g}{\delta} = \frac{\left(0{,}335 + 0{,}0232\, a_{\text{а max}} - 0{,}017\right) 9{,}81}{1{,}07} = 2{,}915 + 0{,}213 a_{\text{а max}}\,;$$

$$0{,}787\,a_{\text{a max}} = 2{,}915;\ a_{\text{a max}} = \frac{2{,}915}{0{,}787} = 3{,}7\ \text{м/с}^2.$$

Ответ: a_{amax} = 3,7 м/с^2.

Пример 2.5. В табл. 2.1 представлена зависимость ускорения от скорости движения автомобиля на прямой передаче коробки передач.

Таблица 2.1. Зависимость ускорения разгона от скорости автомобиля

V_{a}, км/ч	30	45	60	75	90	105
a_{a}, м/с^2	0,32	0,33	0,31	0,24	0,08	0

Определить время и путь разгона автомобиля на данной передаче от минимальной устойчивой скорости до скорости, равной 0,86 V_{amax}.

Дано: V_{amin} = 30 км/ч; $V_{\text{a.p}}$ = 0,86 V_{amax} = 0,86 ·105 = 90 км/ч; n = 4.

Определить: t; S.

Решение: Время разгона:

– в i-м интервале изменения скорости

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{a_{\text{a}i\text{ср}}} = \frac{\left(V_{\text{a}i} - V_{\text{a}(i-1)}\right)}{1{,}8\left(a_{\text{a}(i-1)} + a_{\text{a}i}\right)},\ \text{с};$$

– на прямой передаче

$$t = \sum_{i=1}^{4} \Delta t_i,\ \text{с}.$$

Путь разгона:

– в i-м интервале изменения скорости

$$\Delta S_i = V_{i\text{ср}} \Delta t_i = \frac{\left(V_{\text{a}(i-1)} + V_{\text{a}i}\right)\left(t_i - t_{i-1}\right)}{7{,}2},\ \text{м};$$

– на прямой передаче

$$S = \sum_{i=1}^{4} \Delta S_i,\ \text{м}.$$

Результаты расчётов представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Время и путь разгона автомобиля

V_a, км/ч	30	45	60	75	90
a_a, м/с^2	0,32	0,33	0,31	0,24	0,08
ΔV_{ai}, км/ч		15	15	15	15
a_{aicp}, м/с^2		0,325	0,32	0,275	0,16
Δt_i, с		12,8	13,0	15,2	26,0
t, с		12,8	25,8	41,0	67,0
V_{aicp}, км/ч		37,5	52,5	67,5	82,5
ΔS_i, м		133	190	285	596
S, м		133	323	608	1204

Ответ: t = 67 с; S = 1204 м.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.1. Легковой автомобиль массой 1160 кг движется по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,022. Максимальный крутящий момент двигателя 75 Н·м при 2675 об/мин; фактор обтекаемости автомобиля 0,5 Н·с^2/м^2; статический радиус колёс 0,29 м; КПД трансмиссии 0,92. Определить максимальные углы подъёмов, преодолеваемые автомобилем на третьей и четвёртой передачах, если их передаточные числа 1,40 и 0,96 соответственно, главной передачи 4,125.

Задача 2.2. Определить максимальную скорость движения седельного автопоезда полной массой 32700 кг по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,02, если тяговая сила на его ведущих колёсах 7,91 кН. Коэффициент обтекаемости тягача 0,864, автопоезда – на 10% больше; площадь миделева сечения автопоезда 5,2 м^2; плотность воздуха 1,225 кг/м^3.

Задача 2.3. Легковой автомобиль массой 1485 кг движется при наличии ветра со скоростью 90 км/ч по горизонтальной дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,015. Определить скорость и направление ветра (встречный или попутный), если автомобиль движется равномерно, а на его ведущие колёса действует тяговая сила 417 Н. Фактор обтекаемости автомобиля 0,496 Н·с^2/м^2.

Задача 2.4. Микроавтобус полной массой 2750 кг, движущийся со скоростью 81 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,021, развивает тяговую силу на ведущих колёсах 3 кН. Фактор обтекаемости 1,3 Н·с^2/м^2, коэффициент учёта вращающихся масс 1,065. Определить ускорение, с которым он может разгоняться в заданных условиях.

Задача 2.5. При испытаниях легкового автомобиля массой 1625 кг произведено два заезда на одном и том же горизонтальном участке испытательной дороги со скоростями 18 км/ч и 54 км/ч. Во время заездов замерены величины крутящих моментов на вторичном валу коробки передач, которые при равномерном движении с указанными скоростями составили 16,5 Н·м и 23,6 Н·м. Используя полученные данные экспериментов, рас-

считать фактор обтекаемости и коэффициент сопротивления качению автомобиля. Передаточное число главной передачи 3,9; КПД участка трансмиссии после коробки передач 0,96; динамический радиус колёс 0,29 м.

Задача 2.6. Какой подъём может преодолеть автомобиль полной массой 16000 кг с колёсной формулой 6×6 при равномерном движении на высшей передаче в трансмиссии? Максимальный крутящий момент двигателя, установленного на автомобиле, 765 Н·м; КПД трансмиссии 0,81; передаточные числа: коробки передач 0,72, раздаточной коробки 1,25, главной передачи 7,32; статический радиус колёс 0,55 м; коэффициент сопротивления качению 0,021.

Задача 2.7. По условию задачи 2.6 определить подъём, который может преодолеть автомобиль при буксировании прицепа полной массой 12000 кг.

Задача 2.8. Автомобиль массой 14800 кг движется на подъёме с уклоном 0,05 и коэффициентом сопротивления качению 0,018. Максимальный крутящий момент двигателя 567 Н·м; КПД трансмиссии 0,89; передаточное число главной передачи 7,89; динамический радиус колёс 0,54 м. Определить ускорения на первой и второй передачах. Передаточные числа коробки передач на первой и второй передачах 7,76 и 5,4; коэффициенты учёта вращающихся масс на этих передачах 3,21 и 2,21. Сопротивлением воздуха ввиду малой скорости движения пренебречь.

Задача 2.9. Определить максимальные углы подъёмов, которые может преодолеть легковой автомобиль малого класса на третьей и четвёртой передачах при движении по асфальтированной дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,012. Масса автомобиля с водителем 1080 кг; фактор обтекаемости 0,41 Н·с^2/м^2; максимальный крутящий момент двигателя 77 Н·м при 3000 об/мин; передаточные числа: главной передачи 4,07, третьей и четвёртой передач коробки передач 1,41 и 0,95; КПД трансмиссии 0,94; статический радиус колёс 0,27 м.

Задача 2.10. По условию задачи 2.9 проверить возможность преодоления рассчитанных подъёмов переднеприводным легковым автомобилем при движении по обледенелой дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,18. Масса, приходящаяся на переднюю ось, составляет 55% полной массы; база автомобиля 2,4 м; высоты центра масс и центра парусности 0,5 м и 0,65 м соответственно.

Задача 2.11. Найти тяговую силу на ведущих колёсах легкового автомобиля, движущегося на спуске с углом 3° со скоростью 54 км/ч и ускорением 1,2 м/с^2. Масса автомобиля 1900 кг; коэффициент сопротивления воздуха 0,24 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 2,2 м^2; коэффициент сопротивления качению 0,012; коэффициент учёта вращающихся масс 1,15.

Задача 2.12. Автопоезд массой 20 т движется накатом на спуске с постоянной скоростью 36 км/ч при встречном ветре 36 км/ч. Коэффициент сопротивления воздуха 0,75 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 6,1 м^2; коэффициент сопротивления качению колёс 0,015. Определить уклон дороги.

Задача 2.13. Автомобиль развивает ускорение 0,8 м/с^2 при движении по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,03. На дороге с каким коэффициентом сопротивления качению он может обеспечить ускорение 1 м/с^2 при тех же крутящем моменте двигателя и скорости движения? Коэффициент учёта вращающихся масс 1,08.

Задача 2.14. Легковой автомобиль полной массой 1450 кг движется накатом по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,02. Фактор обтекаемости автомобиля 0,45 Н·с^2/м^2; суммарный момент инерции колёс 2,6 кг·м^2; радиусы колёс 0,26 м. Определить замедления автомобиля на скоростях 72 и 36 км/ч, если сила сопротивления трансмиссии определяется выражением $F_{\text{тр}} = (1{,}8 + 0{,}02V_{\text{а}}) \cdot 10^{-3} m_{\text{а}} g$ (Н).

Задача 2.15. Грузовик-тягач полной массой 8 т буксирует прицеп массой 4 т. Движение происходит со скоростью 54 км/ч на подъёме с уклоном 9%, при этом автопоезд имеет ускорение 0,2 м/с^2; коэффициенты учёта вращающихся масс: тягача 1,06, прицепа 1,038; коэффициент сопротивления качению 0,018; факторы обтекаемости: тягача 3,2 Н·с^2/м^2, прицепа – 20% от этой величины. Определить тяговую силу на ведущих колёсах тягача и силу тяги на буксирном крюке.

Задача 2.16. Согласно паспортным данным легкового автомобиля, его двигатель развивает максимальную стендовую мощность 100 л.с. при 6250 об/мин. Какую максимальную скорость разовьёт автомобиль на четвёртой передаче с передаточным числом 0,966? Передаточное число главной передачи 3,866; масса автомобиля с водителем и инженером-испытателем 1450 кг; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,92; КПД трансмиссии 0,93; коэффициент сопротивления качению шин $f = 0{,}01(1 + 0{,}00013V_{\text{а}}^2)$; динамический радиус колёс 0,28 м; коэффициент обтекаемости 0,31; ширина автомобиля 1,71 м, высота 1,405 м, коэффициент полноты сечения 0,79; плотность воздуха 1,225 кг/м^3. Как скажется на развиваемой максимальной скорости установка в трансмиссии автоматической коробки передач с гидротрансформатором, КПД которого на этом режиме 0,955.

Задача 2.17. Автобус полной массой 10000 кг движется равномерно со скоростью 85 км/ч на подъёме с продольным уклоном 5%. Коэффициент сопротивления качению 0,015; КПД трансмиссии 0,86; коэффициент обтекаемости 0,7; ширина автобуса 2,5 м; высота 3,5 м; коэффициент полноты поперечного сечения 0,9; плотность воздуха 1,225 кг/м^3. Какую мощность развивает двигатель автобуса?

Задача 2.18. Рассчитать массу полуприцепа, с которым может двигаться седельный тягач массой 9200 кг на горизонтальном участке шоссе с максимальной скоростью по регулятору-ограничителю дизельного двигателя на высшей передаче в коробке передач. Мощность двигателя 150 кВт при частоте вращения вала по ограничителю 2100 об/мин; КПД трансмиссии 0,82; статический радиус колёс с диагональными шинами 0,537 м; передаточные числа: главной передачи 8,21, дополнительной передачи 1,23, коробки передач 0,66; факторы обтекаемости: тягача 4,87 Н·с^2/м^2, автопоезда на 10% больше. Коэффициент сопротивления качению шин $f = 0{,}0128 + 0{,}000064 V_{\text{а}}$.

Задача 2.19. Грузовой автомобиль снаряжённой массой 12 т движется с полной нагрузкой 11 т по дороге с коэффициентом сопротивления 0,018 со скоростью 65 км/ч и ускорением 0,25 м/с^2. Фактор обтекаемости автомобиля 4,67 Н·с^2/м^2; коэффициент учёта вращающихся масс 1,06; КПД трансмиссии 0,84. Определить мощность двигателя, необходимую для движения автомобиля.

Задача 2.20. Определить максимальную скорость микроавтобуса массой 2700 кг при движении по дороге с коэффициентом сопротивления 0,021. Стендовая мощность двигателя 100 кВт; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; КПД трансмиссии 0,91; коэффициент сопротивления воздуха 0,26 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 4,2 м^2.

Задача 2.21. Установленный на автомобиле двигатель развивает мощность 55 кВт. С каким ускорением может двигаться автомобиль при скорости 72 км/ч, если его масса 1425 кг; коэффициент сопротивления дороги 0,022; КПД трансмиссии 0,92; коэффициент учёта вращающихся масс 1,05; фактор обтекаемости 0,53 Н·с^2/м^2.

Задача 2.22. Грузовой автопоезд движется с установившейся скоростью 72 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,014. Двигатель развивает мощность 119 кВт; КПД трансмиссии 0,86; фактор обтекаемости автопоезда 4,89 Н·с^2/м^2. Определить массу прицепа, если масса тягача 14 т.

Задача 2.23. Легковой автомобиль массой 1650 кг равномерно движется на подъёме со скоростью 94 км/ч. Двигатель развивает мощность 45 кВт; КПД трансмиссии 0,93, фактор обтекаемости 0,61 Н·с^2/м^2; коэффициент сопротивления качению 0,021. Определить угол подъёма.

Задача 2.24. Легковой автомобиль, двигатель которого развивает мощность 102,5 кВт, движется равномерно со скоростью 140 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,026. Масса автомобиля 2500 кг; КПД трансмиссии 0,92; площадь миделева сечения 2,25 м^2; коэффициент обтекаемости 0,36; плотность воздуха 1,225 кг/м^3. Определить скорость ветра и его направление (встречный или попутный).

Задача 2.25. Определить максимальный угол подъёма, преодолеваемого автопоездом массой 36 т на низшей передаче в трансмиссии. Максимальная стендовая мощность двигателя 190 кВт при 2700 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,921; коэффициенты в уравнении внешней скоростной характеристики двигателя: a = 0,67; b = 1,37; c = 1,04; коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения 1,64; передаточные числа: главной передачи 6,54, коробки передач 7,78; КПД трансмиссии 0,9; радиус качения колёс 0,45 м; коэффициент сопротивления качению 0,01.

Задача 2.26. Найти мощность двигателя, необходимую для обеспечения движения автомобиля массой 7400 кг на спуске с уклоном 1,5% с ускорением 0,2 м/с^2. Скорость движения 60 км/ч; коэффициент сопротивления качению 0,017; КПД трансмиссии 0,9; коэффициент обтекаемости автомобиля 0,82; площадь миделева сечения 4,2 м^2; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; коэффициент учёта вращающихся масс 1,065.

Задача 2.27. Двигатель грузового автомобиля, преодолевающего затяжной подъём с уклоном 3%, при установившемся движении развивает мощность 69 кВт. Масса автомобиля 11725 кг; КПД трансмиссии 0,89; коэффициент сопротивления воздуха 0,53 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 6,9 м^2. Определить коэффициент сопротивления качению, при котором автомобиль может преодолеть подъём со скоростью 36 км/ч.

Задача 2.28. Автомобиль массой 1500 кг имеет на прямой передаче динамический фактор 0,09 и тяговую силу 2 кН. Каким будет динамический фактор при увеличении динамического радиуса колёс на 10%, если режим работы двигателя не меняется.

Задача 2.29. Грузовой автомобиль массой 18 т движется со скоростью 80 км/ч на прямой передаче. При передаточном числе главной передачи 5,45 динамический фактор автомобиля 0,03. На сколько процентов изменится динамический фактор при том же режиме работы двигателя, если передаточное число главной передачи будет заменено на 7,24. Фактор обтекаемости автомобиля 4,22 Н·с^2/м^2.

Задача 2.30. Тяжёлый грузовой автомобиль массой 28 т движется с постоянной скоростью 54 км/ч на повышающей передаче с передаточным числом 0,785 по дороге с коэффициентом сопротивления 0,02. Каким станет динамический фактор автомобиля, если водитель переключится на третью передачу в коробке передач с передаточным числом 1,72. Фактор обтекаемости автомобиля 6,7 Н·с^2/м^2; режим работы двигателя остаётся неизменным.

Задача 2.31. Определить динамический фактор автобуса в порожнем (масса с водителем 7000 кг) и полностью заполненном пассажирами состояниях (полная масса автобуса 10800 кг) при движении со скоростью 90 км/ч, если двигатель развивает мощность 115 кВт. Коэффициент сопро-

тивления воздуха 0,38 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 6,2 м^2; КПД трансмиссии 0,89.

Задача 2.32. Двигатель легкового автомобиля, движущегося на прямой передаче, развивает крутящий момент 99 Н·м при частоте вращения вала 3860 об/мин. Масса автомобиля 1460 кг; коэффициент обтекаемости 0,36; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 1,84 м^2. Параметры трансмиссии: передаточное число главной передачи 3,9; КПД 0,93; динамический радиус колёс 0,28 м. Определить динамический фактор автомобиля. На сколько процентов изменится динамический фактор, если автомобиль будет двигаться на этом режиме без пассажиров, когда его масса будет равна 1120 кг.

Задача 2.33. Легковой автомобиль разгоняется с ускорением 0,87 м/с^2 на дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,013; коэффициент учёта вращающихся масс 1,09. Какова величина динамического фактора автомобиля?

Задача 2.34. Максимальный динамический фактор грузового автомобиля на передаче коробки передач с передаточным числом 4,2 равен 0,3. Определить, с каким ускорением может двигаться автомобиль на подъёме с уклоном 10%, если коэффициент сопротивления качению 0,03. Коэффициент учёта вращающихся масс определить по выражению $\delta = 1 + \sigma_1 u_к^2 + \sigma_2$, в котором σ_1 = 0,02 и σ_2 = 0,015.

Задача 2.35. Автопоезд полной массой 44 т движется по автостраде со скоростью 90 км/ч. Тяговая сила на ведущих колёсах тягача 10,6 кН; коэффициент сопротивления воздуха 0,74 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 7,2 м^2. Определить динамический фактор автопоезда. На сколько процентов изменится динамический фактор, если тягач будет двигаться без прицепа, масса которого 20 т, на том же режиме работы двигателя. Коэффициент сопротивления воздуха автопоезда на 30% больше его величины для тягача.

Задача 2.36. Грузовой автомобиль полной массой 36 т движется на повышающей передаче в коробке передач с максимальной скоростью 72 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,02. Фактор обтекаемости 6,5 Н·с^2/м^2; передаточное число повышающей передачи 0,78. Во сколько раз возрастёт динамический фактор автомобиля, если водитель включит прямую передачу в коробке передач. Режим работы двигателя на передачах остаётся неизменным.

Задача 2.37. Легковой автомобиль полной массой 1850 кг при движении на горизонтальной дороге на прямой передаче со скоростью 130 км/ч имеет динамический фактор 0,06. Коэффициент обтекаемости автомобиля 0,36; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 2,05 м^2;

коэффициент сопротивления качению 0,021. Какой подъём может преодолеть автомобиль при движении без пассажиров на третьей передаче, если двигатель будет работать на том же режиме. Масса автомобиля без пассажиров 1510 кг; передаточное число третьей передачи 1,46.

Задача 2.38. Автомобиль может преодолеть подъём с уклоном 0,065 с ускорением 0,5 м/с^2 при коэффициенте сопротивления качению 0,011. Коэффициент сцепления 0,25; коэффициент учёта вращающихся масс 1,6. Определить коэффициент сцепного веса автомобиля.

Задача 2.39. Автомобиль с приводом на передние колёса преодолевает максимальный подъём 16° при коэффициенте сопротивления качению 0,055. Суммарная нормальная реакция на ведущие колёса составляет 50% от полного веса автомобиля. Какой максимальный подъём в этих условиях может преодолеть автомобиль со всеми ведущими колёсами и заблокированным межосевым дифференциалом?

Задача 2.40. Определить ускорение автомобиля полной массой 1500 кг, движущегося со скоростью 65 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,013. Тяговая сила на ведущих колёсах автомобиля 1450 Н; фактор обтекаемости 0,48 Н·с^2/м^2, коэффициент учёта вращающихся масс 1,07.

Задача 2.41. Легковой автомобиль полной массой 1450 кг движется по горизонтальному участку дороги со скоростью 72 км/ч. Стендовый крутящий момент двигателя 115 Н·м; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,96; передаточные числа: коробки передач 1,00, главной передачи 3,9; КПД трансмиссии 0,92; статический радиус колёс 0,265 м; фактор обтекаемости 0,41 Н·с^2/м^2. При какой величине коэффициента сопротивления дороги автомобиль может разгоняться с ускорением 0,76 м/с^2? Коэффициент учёта вращающихся масс 1,05.

Задача 2.42. Грузовой автомобиль с колёсной формулой 6×6 и полной массой 19,5 т при движении по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,022 разгоняется с ускорением 0,3 м/с^2. Определить максимальное ускорение в этих условиях движения снаряжённого автомобиля, масса которого 10,8 т. Момент инерции вращающихся частей двигателя 4,5 кг·м^2; момент инерции одного колеса 40,5 кг·м^2; КПД трансмиссии 0,82; передаточные числа: коробки передач 0,75, дополнительной передачи 1,23, главной передачи 8,21; статический колёс 0,585 м.

Задача 2.43. Тяжёлый автопоезд при равномерном движении на прямой передаче преодолевает подъём с уклоном 1,5%. С каким ускорением он будет двигаться на этой же передаче на горизонтальном участке дороги? Коэффициент учёта вращающихся масс 1,045.

Задача 2.44. Легковой автомобиль при движении по дороге с коэффициентом сопротивления 0,025 со скоростью 90 км/ч разгоняется с уско-

рением 0,65 м/с^2. Масса автомобиля 1720 кг; коэффициент обтекаемости 0,42; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 2,1 м^2; коэффициент учёта вращающихся масс 1,045. На сколько процентов возрастёт ускорение, если коэффициент обтекаемости будет уменьшен до 0,31.

Задача 2.45. Грузовой автомобиль полной массой 19,5 т движется со скоростью 54 км/ч и ускорением 0,17 м/с^2 по дороге с коэффициентом сопротивления 0,012. Фактор обтекаемости автомобиля 4,5 Н·с^2/м^2; моменты инерции: вращающихся частей двигателя 1,2 кг·м^2, колёс 122 кг·м^2; передаточные числа: коробки передач 1,0, главной передачи 5,83; КПД трансмиссии 0,88; статический радиус колёс 0,47 м. Каким будет в этих условиях движения ускорение автомобиля, если его оснастить главной передачей с передаточным числом 7,18.

Задача 2.46. При движении по дороге с коэффициентом сопротивления 0,021 автомобиль развивает ускорение 0,45 м/с^2. На дороге с каким коэффициентом сопротивления этот автомобиль может развить ускорение 0,55 м/с^2 при том же режиме работы двигателя? Коэффициент учёта вращающихся масс 1,055.

Задача 2.47. Определить максимальное ускорение автомобиля при трогании с места на дороге с коэффициентом сцепления 0,5 и коэффициентом сопротивления качению 0,02. Полный вес автомобиля 110 кН, в том числе на ведущие колёса 70 кН; коэффициент учёта вращающихся масс 2,1.

Задача 2.48. Определить максимально возможное ускорение переднеприводного автомобиля при трогании с места на дороге с коэффициентом сцепления 0,5 и коэффициентом сопротивления качению 0,02. Полный вес автомобиля 12 кН; статическая весовая нагрузка на ведущие колёса 6,6 кН; база 2,5 м; высота центра масс 0,5 м; коэффициент учёта вращающихся масс за счёт предварительной раскрутки вала двигателя перед троганием с места 1,06.

Задача 2.49. Микроавтобус полной массой 3500 кг движется со скоростью 120 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,026. На ведущие колёса приходится масса 1900 кг; коэффициент обтекаемости 0,55; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 4,9 м^2; высота центра парусности 1,2 м; база 3,2 м; высота центра масс 0,95 м; коэффициент учёта вращающихся масс 1,06. Определить минимальное значение коэффициента продольного сцепления, при котором микроавтобус может разгоняться с ускорением 0,75 м/с^2.

Задача 2.50. Определить минимальное значение коэффициента продольного сцепления, при котором автомобиль может разогнаться с ускорением 2 м/с^2 на дороге с коэффициентом сопротивления 0,12. На заднюю ведущую ось автомобиля в статическом состоянии приходится 52% пол-

ной массы; база 2,7 м; расстояние от центра масс до поверхности дороги 0,8 м; коэффициент учёта вращающихся масс 1,32.

Задача 2.51. Определить время разгона легкового автомобиля со скорости 10 км/ч до скорости 100 км/ч. Для расчётов использовать его динамическую характеристику, приведённую на рис. 2.1. Время полного включения сцепления при трогании с места 0,8 с; время переключения с первой передачи на вторую передачу 0,5 с. Коэффициенты учёта вращающихся масс на первой и второй передачах 1,51 и 1,15. Коэффициент сопротивления дороги 0,01.

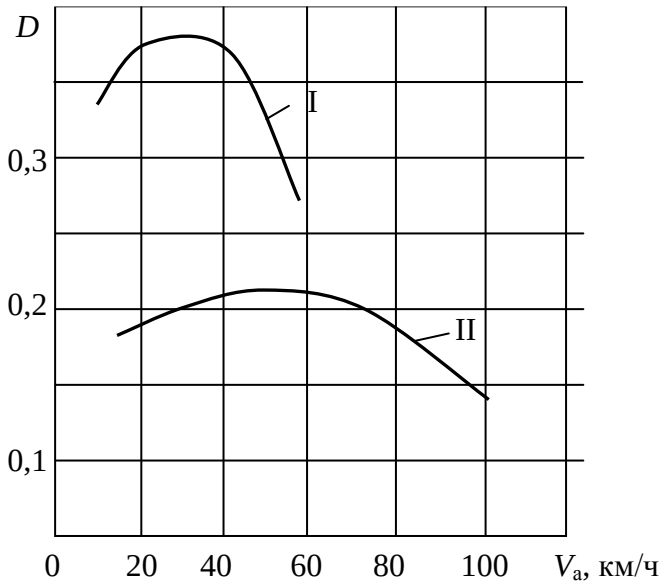


Рис. 2.1. Динамическая характеристика легкового автомобиля

Задача 2.52. Как изменится время разгона по условию задачи 2.51, если перед включением сцепления водитель даст «полный газ» и предварительно раскрутит коленчатый вал двигателя до частоты вращения максимального крутящего момента, тем самым обеспечив максимальный динамический фактор от минимальной скорости до скорости 30 км/ч. Коэффициент учёта вращающихся масс на этом участке разгона 1,05.

Задача 2.53. На рис. 2.2 приведена динамическая характеристика грузового автомобиля. Рассчитать время и путь разгона автомобиля до скорости 70 км/ч на дороге с коэффициентом сопротивления 0,012. Время переключения передач 1 с; коэффициенты учёта вращающихся масс на передачах: 2,25; 1,41; 1,13; 1,06; 1,05.

Задача 2.54. В табл. 2.3 представлена зависимость скорости автомобиля от времени разгона на высшей передаче коробки передач.

Таблица 2.3. Зависимость скорости автомобиля от времени разгона

V_a, км/ч	50	55	60	65	70	75	80
t, с	0	10	16	28	33	45	63

Найти путь разгона автомобиля со скорости 50 км/ч до скорости 80 км/ч.

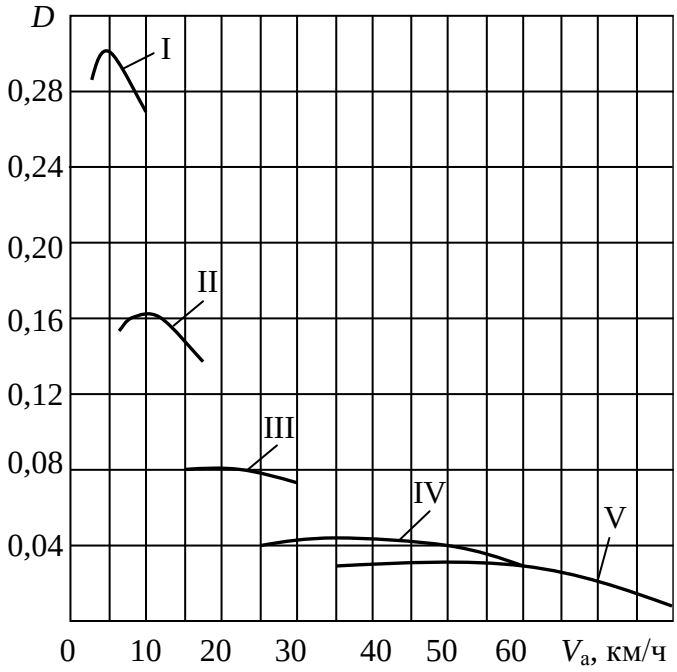


Рис. 2.2. Динамическая характеристика грузового автомобиля

Задача 2.55. Рассчитать уменьшение скорости движения автомобиля полной массой 4500 кг за время переключения передач 1 с и пройденный за это время путь при коэффициенте сопротивления дороги 0,022 и факторе обтекаемости 2,7 Н·с^2/м^2. Скорости движения, при которых происходят переключения: 15; 27; 53 км/ч. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,045.

Задача 2.56. Автомобиль, динамическая характеристика которого представлена на рис. 2.3, двигался с максимальной скоростью по дороге с коэффициентом сопротивления 0,1. После этого автомобиль выехал на участок дороги с коэффициентом сопротивления 0,075 и продолжил движение при полной подаче топлива в двигатель. Через какой промежуток времени его движение опять станет установившимся? Коэффициент учёта вращающихся масс 1,05.

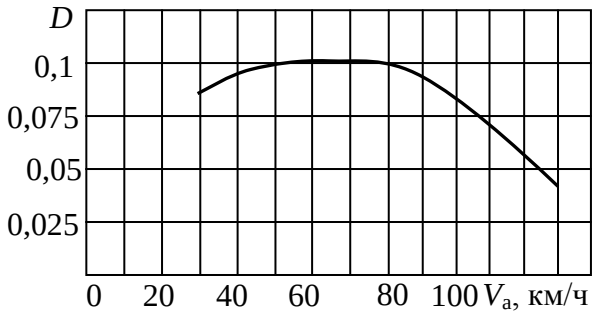


Рис. 2.3. Динамическая характеристика автомобиля на прямой передаче

Задача 2.57. Найти величины коэффициента сопротивления качению и фактора обтекаемости легкового автомобиля массой 1270 кг по результатам его испытаний. Было установлено, что при движении накатом на скорости 90 км/ч замедление автомобиля составило 0,3 м/с^2 , а на скорости 54 км/ч – 0,2 м/с^2. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,03. Гидравлические потери в трансмиссии определяются выражением
$F_{\text{тр}} = \left(2 + 0{,}022V_{\text{а}}\right)\cdot 10^{-3} m_{\text{а}} g$ (Н).

Задача 2.58. Рассчитать время и путь свободного выбега грузового автомобиля со скорости 72 км/ч до полной остановки. Масса автомобиля 3500 кг; коэффициент обтекаемости 0,56; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделя 5,28 м^2; коэффициент сопротивления дороги 0,011; коэффициент учёта вращающихся масс 1,046. Потерями в трансмиссии в виду их относительной малости пренебречь.

Задача 2.59. На рис. 2.4 показана динамическая характеристика грузового автомобиля на прямой передаче в коробке передач. Автомобиль двигался с максимальной скоростью по горизонтальной дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,022, после чего начал преодолевать длинный подъём с уклоном 1,8 %. Определить время и путь, необходимые для достижения им установившейся скорости движения. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,032.

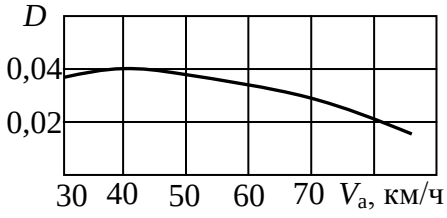


Рис. 2.4. Динамическая характеристика грузового автомобиля

Задача 2.60. Легковой автомобиль, движущийся со скоростью 90 км/ч, догнал грузовик, движущийся со скоростью 80 км/ч. Сколько времени и какая дистанция потребуется ему, чтобы обогнать грузовик, если скорости движения обоих автомобилей не меняются. Обгон начнётся, когда до грузовика останется 15 м, и закончится, когда легковой автомобиль обгонит грузовик на 15 м. Длина грузовика 8 м. Как изменятся время и дистанция, если с момента начала обгона первые 5 секунд легковой автомобиль будет двигаться с постоянным ускорением 0,5 м/с^2. Какой вариант обеспечивает большую безопасность манёвра?

3. ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Топливная экономичность двигателя

Удельный расход топлива [г/(кВт·ч)]:

– удельный эффективный расход топлива по внешней скоростной характеристике двигателя

$$g_e = \frac{1000\,G_т}{P_e}; \qquad (3.1)$$

– удельный расход топлива на частичных скоростных характеристиках двигателя

$$g_д = \frac{1000\,G_т}{P_д}. \qquad (3.2)$$

Определение удельного расхода топлива по приближённой аналитической методике [г/(кВт·ч)]

$$g_д = g_{eP}\, k_Е\, k_И; \qquad (3.3)$$

– удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности

$$g_{eP} = (1{,}05\ldots1{,}15)\, g_{e\,\min}; \qquad (3.4)$$

– коэффициент, учитывающий степень использования угловой скорости (частоты вращения) вала двигателя для всех типов двигателей

$$k_Е = 1{,}25 - 0{,}99\,Е + 0{,}98\,Е^2 - 0{,}24\,Е^3; \qquad (3.5)$$

– коэффициент, учитывающий степень использования мощности двигателя:

- для бензиновых карбюраторных двигателей

$$k_И = 4{,}68 - 22{,}41\,И + 56{,}97\,И^2 - 74{,}96\,И^3 + 49{,}75\,И^4 - 13{,}03\,И^5; \qquad (3.6)$$

- для бензиновых двигателей с распределённым впрыском

$$k_И = 4{,}32 - 24{,}21\,И + 71{,}87\,И^2 - 107{,}21\,И^3 + 78{,}73\,И^4 - 22{,}5\,И^5; \qquad (3.7)$$

- для дизельных двигателей

$$k_И = 3{,}52 - 17{,}24\,И + 44{,}85\,И^2 - 55{,}28\,И^3 + 31{,}23\,И^4 - 6{,}08\,И^5; \qquad (3.8)$$

– степень использования угловой скорости (частоты вращения) вала двигателя

$$\text{Е} = \frac{\omega_e}{\omega_{eP}} = \frac{n_e}{n_{eP}}; \tag{3.9}$$

– степень использования мощности двигателя

$$\text{И} = \frac{P_\text{д}}{P_e^\text{с}} = \frac{P_\psi + P_\text{в} + P_a}{k_\text{с} P_e^\text{с} \eta_\text{тр}}. \tag{3.10}$$

В формулах (3.1)…(3.10) $G_\text{т}$ – часовой расход топлива, кг/ч; P_e – эффективная мощность двигателя, кВт; $P_\text{д}$ – мощность нагрузки двигателя, кВт; $g_{e\min}$ – минимальный удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч); ω_e (n_e) – текущее значение угловой скорости (частоты вращения) вала двигателя, рад/с (об/мин); ω_{eP} (n_{eP}) – угловая скорость (частота вращения) вала двигателя при максимальной мощности, рад/с (об/мин); P_ψ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги, кВт; $P_\text{в}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт; P_a – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону, кВт; $P_e^\text{с}$ – эффективная стендовая мощность двигателя по внешней скоростной характеристике, кВт; $k_\text{с}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $\eta_\text{тр}$ – КПД трансмиссии.

2. Уравнения расхода топлива автомобиля

Уравнения путевого расхода топлива (л/100 км):

– в общем виде

$$Q_S = \frac{g_\text{д} P_\text{д}}{36 V \rho_\text{т}} = \frac{g_\text{д}\left(P_\psi + P_\text{в} + P_a\right)}{36 V \rho_\text{т} k_\text{с} \eta_\text{тр}} = \frac{g_\text{д}\left(F_\psi + F_\text{в} + F_a\right)}{36000\, \rho_\text{т} k_\text{с} \eta_\text{тр}}; \tag{3.11}$$

– в развёрнутом виде

$$Q_S = \frac{g_\text{д}\left(\psi G_\text{а} + W V^2 + \delta m_\text{а} a_\text{а}\right)}{36000\, \rho_\text{т} k_\text{с} \eta_\text{тр}}. \tag{3.12}$$

Уравнения удельного расхода топлива грузового автомобиля [л/(100 т·км)]:

– в общем виде

$$Q_W = \frac{Q_S}{m_\text{г}}; \tag{3.13}$$

– в развёрнутом виде

$$Q_W = \frac{g_д\left(\psi G_а + WV^2 + \delta m_а a_а\right)}{36000\, m_г \rho_т k_с \eta_{тр}}. \qquad (3.14)$$

Уравнения удельного расхода топлива пассажирского автомобиля [л/(100 пас.·км)]:

– в общем виде

$$Q_W = \frac{Q_S}{n_п}; \qquad (3.15)$$

– в развёрнутом виде

$$Q_W = \frac{g_д\left(\psi G_а + WV^2 + \delta m_а a_а\right)}{36000\, n_п \rho_т k_с \eta_{тр}}, \qquad (3.16)$$

где V – скорость автомобиля, м/с; $\rho_т$ – плотность топлива, кг/л; F_ψ – сила сопротивления дороги, Н; $F_в$ – сила сопротивления воздуха, Н; F_a – сила сопротивления разгону, Н; ψ – коэффициент сопротивления дороги; $G_а$ – вес автомобиля, Н; W – фактор обтекаемости автомобиля Н·с^2/м^2; δ – коэффициент учёта вращающихся масс; $m_а$ – масса автомобиля, кг; $a_а$ – ускорение разгона автомобиля, м/с^2; $m_г$ – масса груза, т; $n_п$ – число пассажиров, пас.

3. Нормы расхода топлива

Эксплуатационный расход топлива (л)

$$Q = \frac{k_{т1} S}{100} + \frac{k_{т2} W_{т.р}}{100} + k_{т3} z, \qquad (3.17)$$

где $k_{т1}$ – норма расхода топлива на передвижение автомобиля и внутренние потери в двигателе, л/100 км; S – путь, пройденный автомобилем, км; $k_{т2}$ – норма расхода топлива на единицу транспортной работы, л/(100 т·км) или л/(100 пас.·км); $W_{т.р}$ – транспортная работа, т·км или пас.·км; $k_{т3}$ – норма дополнительного расхода топлива на каждую ездку, л; z – число ездок.

Примеры решения типовых задач

Пример 3.1. Грузовой автомобиль полной массой 9 т движется по горизонтальной дороге на прямой передаче с установившейся скоростью 72 км/ч. Внешняя скоростная характеристика двигателя показана на рис. 3.1. Коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,92; удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности

двигателя 165 г/(кВт·ч); плотность дизельного топлива 0,82 кг/л. Передаточное число главной передачи 5,65; КПД трансмиссии 0,88; радиус качения колёс 0,48 м; коэффициент обтекаемости 0,78; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделя 4,7 м^2; коэффициент сопротивления качению f = 0,012 (1 + 0,0035$V_а$). Определить удельный расход топлива двигателя.

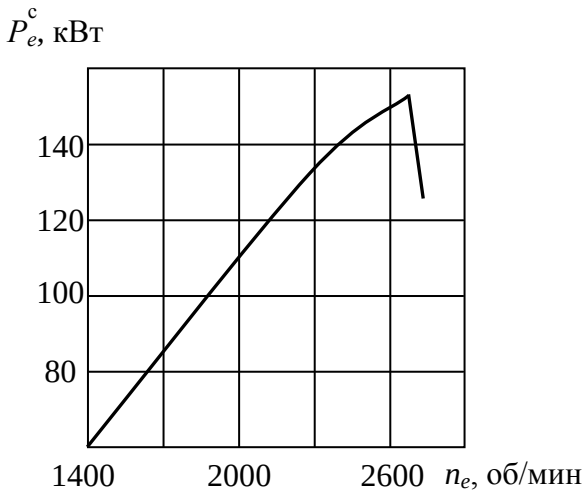


Рис. 3.1. Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя

Дано: $m_а$ = 9 т; $u_к$ = 1,00; $V_а$ = 72 км/ч = const; $P_e = f(n_e)$; $k_с$ = 0,92; g_{eP} = 165 г/(кВт·ч); $\rho_т$ = 0,82 кг/л; u_0 = 5,65; $\eta_{тр}$ = 0,88; $r_к$ = 0,48 м; c_x = 0,78; $\rho_в$ = 1,225 кг/м^3; $A_в$ = 4,7 м^2; f = 0,012 (1 + 0,0035$V_а$).

Определить: $g_д$.

Решение: Удельный расход топлива двигателя определяют по приближённой аналитической зависимости $g_д = g_{eP}\, k_Е\, k_И$.

Определение коэффициента $k_Е$:

– частота вращения вала двигателя из формулы $V_а = \dfrac{0{,}378 n_e r_к}{u_к u_0}$

$$n_e = \frac{V_а u_к u_0}{0{,}378 r_к} = \frac{72 \cdot 1{,}00 \cdot 5{,}65}{0{,}378 \cdot 0{,}48} = 2240 \text{ об/мин};$$

– частота вращения вала двигателя при максимальной мощности по внешней скоростной характеристике (рис. 3.1)

$$n_{eP} = 2780 \text{ об/мин};$$

– степень использования частоты вращения вала двигателя

$$Е = \frac{n_e}{n_{eP}} = \frac{2240}{2780} = 0{,}806\,;$$

– коэффициент $k_Е$

$k_E = 1{,}25 - 0{,}99\ E + 0{,}98\ E^2 - 0{,}24\ E^3 =$

$= 1{,}25 - 0{,}99 \cdot 0{,}806 + 0{,}98 \cdot 0{,}806^2 - 0{,}24 \cdot 0{,}806^3 = 0{,}963.$

Определение коэффициента $k_И$:

– коэффициент сопротивления качению

$$f = 0{,}012\ (1 + 0{,}0035 \cdot 72) = 0{,}015;$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению,

$$P_f = fG_а V = fm_а gV = 0{,}015 \cdot 9 \cdot 9{,}81\left(\frac{72}{3{,}6}\right) = 26{,}5\ \text{кВт};$$

– фактор обтекаемости автомобиля

$$W = 0{,}5 c_x \rho_в A_в = 0{,}5 \cdot 0{,}78 \cdot 1{,}225 \cdot 4{,}7 = 2{,}245\ \text{Н·с}^2/\text{м}^2;$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха,

$$P_в = \frac{WV^3}{1000} = \frac{2{,}245}{1000}\left(\frac{72}{3{,}6}\right)^3 = 18\ \text{кВт};$$

– мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону, при $V_а$ = const и $a_а = 0$

$$P_a = \frac{\delta m_а a_а V}{1000} = 0\ \text{кВт};$$

– мощность, нагрузки двигателя при $P_a = 0$

$$P_д = \frac{P_ψ + P_в}{k_с \eta_{тр}} = \frac{26{,}5 + 18}{0{,}92 \cdot 0{,}88} = 55\ \text{кВт};$$

– стендовая мощность двигателя при n_e = 2240 об/мин по внешней скоростной характеристике (рис. 3.1)

$$P_e^с = 137\ \text{кВт};$$

– степень использования мощности двигателя

$$И = \frac{P_д}{P_e^с} = \frac{55}{137} = 0{,}4;$$

– коэффициент $k_И$

$k_И = 3{,}52 - 17{,}24\ И + 44{,}85\ И^2 - 55{,}28\ И^3 + 31{,}23\ И^4 - 6{,}08\ И^5 = 3{,}52 -$

$- 17{,}24 \cdot 0{,}4 + 44{,}85 \cdot 0{,}4^2 - 55{,}28 \cdot 0{,}4^3 + 31{,}23 \cdot 0{,}4^4 - 6{,}08 \cdot 0{,}4^5 = 1{,}002.$

Удельный расход топлива двигателя

$$g_д = g_{eP}\, k_Е\, k_И = 165 \cdot 0{,}963 \cdot 1{,}002 = 159 \text{ г/(кВт·ч)}.$$

Ответ: $g_д = 159$ г/(кВт·ч).

Пример 3.2. Туристский автобус полной массой 12,4 т движется на подъёме с установившейся скоростью. Согласно показаниям контрольных приборов, скорость автобуса 65 км/ч и путевой расход топлива 65 л/100 км. Удельный расход топлива дизельного двигателя 207 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; КПД трансмиссии 0,89; коэффициент сопротивления воздуха 0,5 Н·с^2/м^4; площадь миделя 5,7 м^2. Определить подъём, преодолеваемый автобусом при коэффициенте сопротивления качению 0,012.

Дано: $m_а = 12{,}4$ т; $V_а = 65$ км/ч = const; $Q_S = 65$ л/100 км; $g_д = 207$ г/(кВт·ч); $\rho_т = 0{,}82$ кг/л; $\eta_{тр} = 0{,}89$; $k_в = 0{,}5$ Н·с^2/м^4; $A_в = 5{,}7$ м^2; $f = 0{,}012$.

Определить: i.

Решение: Силы сопротивления движению автобуса:

– сила сопротивления дороги при уклонах не более 10°

$$F_\psi = \psi G_а = (f + i)\, m_а g \text{ Н};$$

– сила сопротивления разгону при $V_а$ = const и $a_а = 0$

$$F_a = \delta m_а a_а = 0 \text{ Н}.$$

Уклон дороги при движении автобуса на подъёме определяют из уравнения путевого расхода топлива

$$Q_S = \frac{g_д (F_\psi + F_в)}{36000\, \rho_т \eta_{тр}} = \frac{g_д \left[(f + i)\, m_а g + k_в A_в V^2 \right]}{36000\, \rho_т \eta_{тр}},$$

откуда

$$i = \frac{\dfrac{36000\, Q_S \rho_т \eta_{тр}}{g_д} - k_в A_в V^2}{m_а g} - f =$$

$$= \frac{\dfrac{36000 \cdot 65 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}89}{207} - 0{,}5 \cdot 5{,}7 \left(\dfrac{65}{3{,}6} \right)^2}{12400 \cdot 9{,}81} - 0{,}012 = 0{,}048 = 4{,}8\ \%.$$

Ответ: i = 4,8 %.

Пример 3.3. Грузовой автомобиль полной массой 9 т везёт груз массой 5 т со скоростью 90 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,03. Удельный расход топлива на режиме максимальной мощности 200 г/(кВт·ч); коэффициенты: $k_Е$ = 0,97; $k_И$ = 0,94; плотность топлива 0,83 кг/л. Фактор обтекаемости 2,8 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,88. Определить удельный расход топлива автомобиля.

Дано: $m_а$ = 9 т; $m_г$ = 5 т; $V_а$ = 90 км/ч; ψ = 0,03; g_{eP} = 200 г/(кВт·ч); $k_Е$ = 0,97; $k_И$ = 0,94; $\rho_т$ = 0,83 кг/л; W = 2,8 Н·с^2/м^2; $\eta_{тр}$ = 0,88.

Определить: Q_W.

Решение: Удельный расход топлива двигателя

$$g_д = g_{eP}\, k_Е\, k_И = 200 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}94 = 182 \text{ г/(кВт·ч)}.$$

Путевой расход топлива автомобиля

$$Q_S = \frac{g_д\left(\psi G_а + WV^2\right)}{36000\,\rho_т \eta_{тр}} = \frac{182\left[0{,}03 \cdot 9000 \cdot 9{,}81 + 2{,}8\left(\frac{90}{3{,}6}\right)^2\right]}{36000 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}88} = 30{,}5 \text{ л/100 км}.$$

Удельный расход топлива автомобиля

$$Q_W = \frac{Q_S}{m_г} = \frac{30{,}5}{5} = 6{,}1 \text{ л/(100 т·км)}.$$

Ответ: Q_W = 6,1 л/(100 т·км).

Пример 3.4. Грузовой автомобиль совершил три ездки на расстояния 80; 90; 120 км с грузом 5; 7; 6 т соответственно. Нормы расхода топлива: на передвижение автомобиля и внутренние потери в двигателе 22 л/100 км; на единицу транспортной работы 1,3 л/(100 т·км). Найти общий расход топлива.

Дано: S_1 = 80 км; S_2 = 90 км; S_3 = 120 км; $m_{г1}$ = 5 т; $m_{г2}$ = 7 т; $m_{г3}$ = 6 т; $k_{т1}$ = 22 л/100 км; $k_{т2}$ = 1,3 л/(100 т·км).

Определить: Q.

Решение: Расходы топлива:

– на передвижение автомобиля и компенсацию потерь энергии в двигателе

$$Q_1 = \frac{k_{т1}S}{100} = \frac{k_{т1}\left(S_1 + S_2 + S_3\right)}{100} = \frac{22\left(80 + 90 + 120\right)}{100} = 63{,}8 \text{ л};$$

– на выполнение транспортной работы

$$Q_2 = \frac{k_{т2} W_{т.р}}{100} = \frac{k_{т2}\left(m_{г1} S_1 + m_{г2} S_2 + m_{г3} S_3\right)}{100} =$$

$$= \frac{1{,}3\left(5 \cdot 80 + 7 \cdot 90 + 6 \cdot 120\right)}{100} = 22{,}8 \text{ л};$$

– общий

$$Q = Q_1 + Q_2 = 63{,}8 + 22{,}8 = 86{,}6 \text{ л}.$$

Ответ: Q = 86,6 л.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.1. Рассчитать контрольные расходы топлива переднеприводного легкового автомобиля с бензиновым двигателем и с системой распределённого впрыска при движении на высшей передаче коробки передач с передаточным числом 0,975 по горизонтальной дороге со скоростями 90 и 120 км/ч. Полная масса автомобиля 1550 кг; внешняя скоростная характеристика двигателя показана на рис. 3.2; потери при установке двигателя на автомобиль не более 5%; удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя 245 г/(кВт·ч); коэффициент обтекаемости автомобиля 0,31; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 1,9 м^2; передаточное число главной передачи 3,9; коэффициент сопротивления качению при заданных скоростях 0,011 и 0,013 соответственно; радиус колёс 0,29 м; КПД трансмиссии 0,94; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.2. Определить контрольные расходы топлива легкового автомобиля с бензиновым карбюраторным двигателем при движении на прямой передаче коробки передач по горизонтальной дороге со скоростями 90 и 120 км/ч. Полная масса автомобиля 1350 кг; максимальная стендовая мощность двигателя 50 кВт при 5200 об/мин; коэффициент коррекции скоростной характеристики двигателя 0,96; коэффициенты в уравнении внешней скоростной характеристики: a = 0,8; b = 1,4; c = 1,2; удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя 270 г/(кВт·ч); коэффициент обтекаемости автомобиля 0,41; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 1,8 м^2; передаточное число главной передачи 3,9; коэффициент сопротивления качению при заданных скоростях 0,01 и 0,0126; радиус колёс 0,28 м; КПД трансмиссии 0,93; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.3. Определить контрольные расходы топлива легкового автомобиля полной массой 1850 кг при скоростях движения на прямой передаче коробки передач 90 и 120 км/ч. Внешняя скоростная характеристика бензинового карбюраторного двигателя показана на рис. 3.3; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; удельный расход топ-

лива двигателя при максимальной мощности 230 г/(кВт·ч); коэффициент сопротивления качению определяется формулой $f = 0{,}0008 + 0{,}00000123\,V_{\text{а}}^{2}$; передаточное число главной передачи 3,95; радиус колёс 0,29 м; фактор обтекаемости 0,4 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,94; плотность топлива 0,75 кг/л.

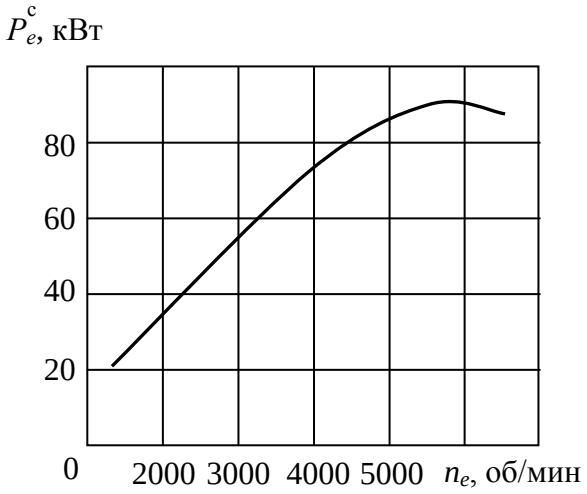


Рис. 3.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя с распределённым впрыском

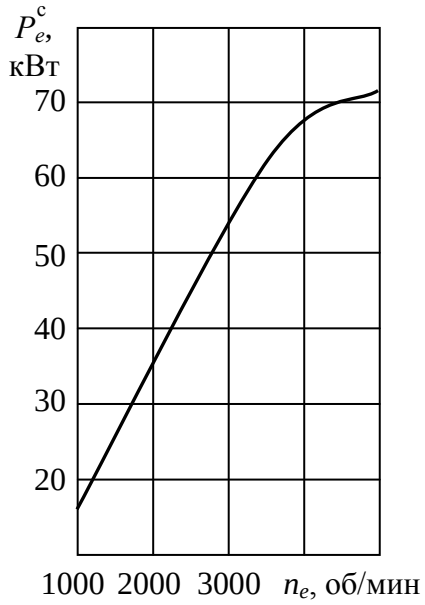


Рис. 3.3. Внешняя скоростная характеристика бензинового карбюраторного двигателя

Задача 3.4. На рис. 3.4 представлена характеристика топливной экономичности дизельного двигателя, установленного на грузовом автомобиле. С её использованием определить путевой расход топлива автомобиля при скорости 45 км/ч и сопротивлении дороги 0,021. Полная масса автомобиля 24 т; передаточные числа трансмиссии: коробки передач 0,78, дополнительной передачи 1,21, главной передачи 7,86; КПД трансмиссии 0,84; радиус колёс 0,58 м; фактор обтекаемости 4,2 Н·с^2/ м^2; плотность топлива 0,82 кг/л.

Задача 3.5. Используя приведённую на рис. 3.5 внешнюю скоростную характеристику дизельного двигателя, определить контрольный расход топлива оснащённого им грузового автомобиля массой 15 т при движении на прямой передаче коробки передач со скоростью 60 км/ч. Удельный расход дизельного топлива при максимальной мощности двигателя 185 г/(кВт·ч); коэффициент корректировки стендовой характеристики 0,91; коэффициент сопротивления дороги 0,014; передаточное число главной передачи 6,53; КПД трансмиссии 0,84; радиус колёс 0,48 м; фактор обтекаемости 2,5 Н·с^2/м^2; плотность топлива 0,82 кг/л.

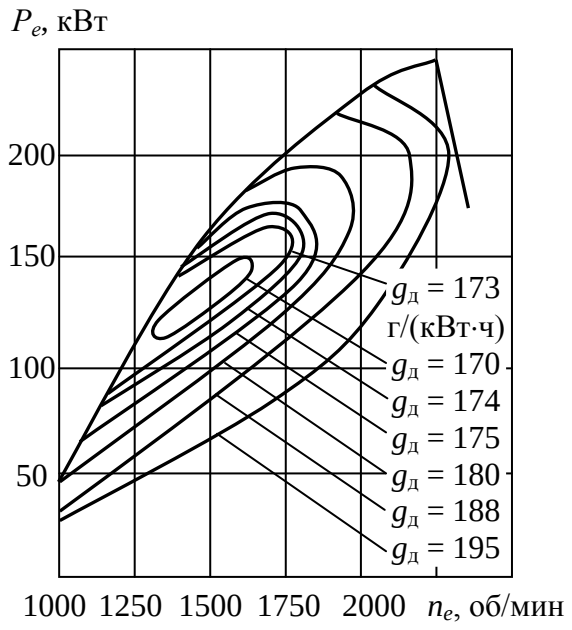


Рис. 3.4. Характеристика топливной экономичности дизельного двигателя

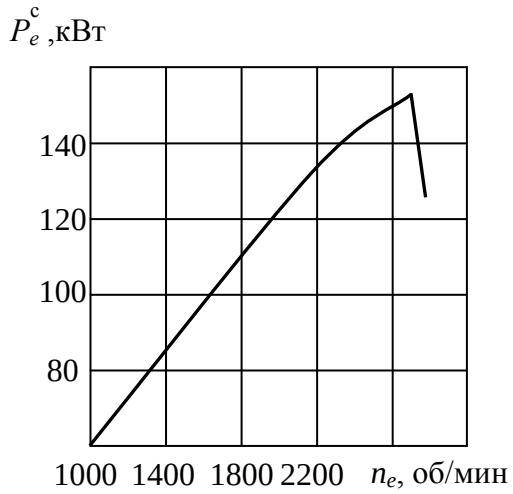


Рис. 3.5. Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя

Задача 3.6. На рис. 3.6 показаны дроссельная и внешняя скоростная характеристики дизельного двигателя, установленного на грузовом автомобиле полной массой 5,5 т. Коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,93; плотность топлива 0,82 кг/л; фактор обтекаемости автомобиля 2,4 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,905; радиус колёс 0,43 м; передаточное число главной передачи 6,5. Определить путевой расход топлива при движении автомобиля на четвёртой прямой передаче коробки передач со скоростью 40 км/ч при коэффициентах сопротивления дороги 0,02 и 0,03.

Задача 3.7. По условию задачи 3.6 найти, во сколько раз изменится путевой расход топлива при движении автомобиля на третьей передаче. Передаточное число третьей передачи 1,69.

Задача 3.8. Определить путевой расход топлива автобуса, движущегося по дороге с коэффициентом сопротивления 0,021 со скоростью 65 км/ч. Масса автобуса 9800 кг; фактор обтекаемости 3,74 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,9; удельный расход дизельного топлива при максимальной мощности двигателя 230 г/(кВт·ч); коэффициенты: $k_Е$ = 0,97, $k_И$ = 1,02; плотность топлива 0,82 кг/л.

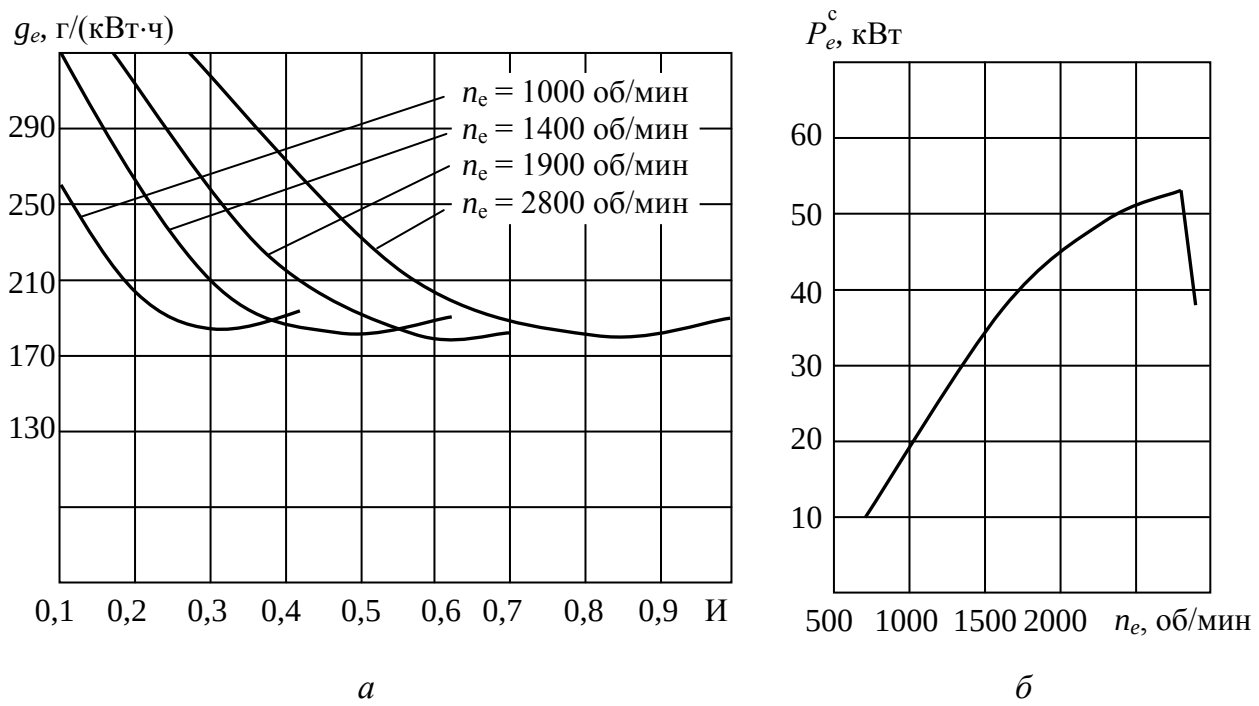


Рис. 3.6 Характеристики дизельного двигателя:
а – дроссельная; *б* – внешняя скоростная

Задача 3.9. Определить контрольный расход топлива легкового автомобиля с бензиновым впрысковым двигателем при скорости 90 км/ч. Масса автомобиля 1130 кг; стендовая внешняя скоростная характеристика двигателя приведена на рис. 3.7, коэффициент коррекции стендовой характеристики 0,93; удельный расход топлива двигателя на режиме максимальной мощности 250 г/(кВт·ч); фактор обтекаемости автомобиля 0,43 Н·с^2/м^2; коэффициент сопротивления качению 0,018; передаточные числа: коробки передач 0,94, главной передачи 3,7; радиус колёс 0,27 м; КПД трансмиссии 0,93; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.10. Определить контрольный расход топлива легкового автомобиля полной массой 1200 кг при скорости 90 км/ч. Максимальная стендовая мощность бензинового карбюраторного двигателя 50 кВт при частоте вращения коленчатого вала 5600 об/мин коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9, удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя 280 г/(кВт·ч); коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,5; b = 2; c = 1,5; коэффициент обтекаемости 0,43; плотность воздуха 1,225 кг/м^2; лобовая площадь 2,1 м^2; передаточные числа трансмиссии: коробки передач 1,0, главной передачи 4,1; КПД трансмиссии 0,92; статический радиус колёс 0,28 м; коэффициент сопротивления качению 0,014; плотность топлива 0,75 кг/л.

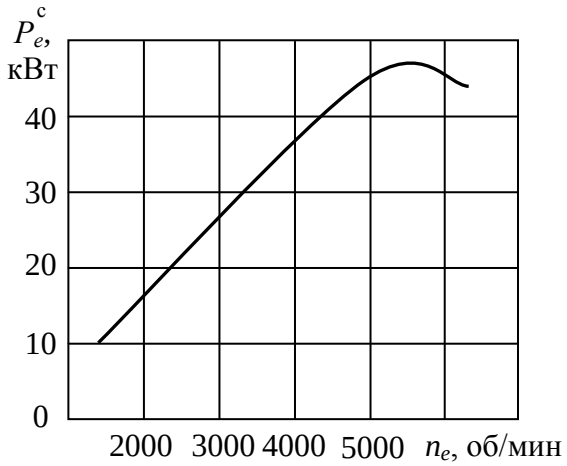


Рис. 3.7. Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя с распределённым впрыском

Задача 3.11. По условию задачи 3.1 определить, на сколько процентов изменится путевой расход топлива легкового автомобиля с прицепом массой 300 кг, движущегося со скоростью 90 км/ч. Фактор обтекаемости каравана возрастает на 15%.

Задача 3.12. По условию задачи 3.4 определить, во сколько раз изменится путевой расход топлива при движении автомобиля с прицепом полной массой 16 т. Фактор обтекаемости автопоезда на 25% больше, чем у одиночного автомобиля.

Задача 3.13. Микроавтобус полной массой 2500 кг движется по горизонтальному шоссе с максимальной скоростью, которую он развивает при максимальной мощности двигателя. Максимальная стендовая мощность бензинового впрыскового двигателя 125 кВт при частоте вращения 4800 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,92; передаточные числа: коробки передач 1,00, главной передачи 4,45; КПД трансмиссии 0,92; радиус колёс 0,31 м; коэффициент сопротивления качению определяется выражением $f = 0{,}008 + 0{,}000042V_а$; фактор обтекаемости 2,2 Н·с^2/м^2; минимальный удельный расход топлива двигателя 225 г/(кВт·ч); удельный расход топлива двигателя при максимальной мощности на 10% больше минимального удельного расхода; плотность топлива 0,75 кг/л. Определить путевой расход топлива. Каким станет путевой расход при снижении скорости до 80 км/ч, если при этом степень использования мощности двигателя понизится до 0,49.

Задача 3.14. Легковой автомобиль, параметры которого приведены в условии задачи 3.1, при движении со скоростью 90 км/ч разгоняется с ускорением 0,4 м/с^2. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,045. Расход топлива по показаниям контрольного прибора 8 л/100 км. Определить, правильны ли показания прибора.

Задача 3.15. По условию задачи 3.3 определить путевой расход топлива легкового автомобиля, который при движении со скоростью 90 км/ч начинает разгон с ускорением 0,7 м/с^2. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,055.

Задача 3.16. Грузовой автомобиль массой 6800 кг движется с установившейся скоростью 45 км/ч на подъёме с уклоном 5%. Коэффициент сопротивления качению 0,018; фактор обтекаемости 2,3 Н·с^2/м^2; передаточные числа: коробки передач 1,00, дополнительной передачи 1,58, главной передачи 6,83; КДД трансмиссии 0,87; радиус колёс 0,473 м. Определить путевой расход топлива, если на автомобиле установлен карбюраторный двигатель с максимальной стендовой мощностью 85 кВт при частоте вращения коленчатого вала 3350 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; удельный расход топлива при максимальной мощности 262 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,75 кг/л; коэффициенты в уравнении скоростной характеристики двигателя: a = 0,44; b = 2,12; c = 1,56.

Задача 3.17. По условию задачи 3.16 найти путевой расход топлива при установке на автомобиль дизельного двигателя той же мощности при частоте вращения вала двигателя 2500 об/мин. Удельный расход топлива двигателя при максимальной мощности 220 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; передаточное число главной передачи изменено таким образом, что скорость движения на режиме максимальной мощности двигателя осталась неизменной. Коэффициенты в уравнении скоростной характеристики дизельного двигателя: a = 0,68; b = 1,38; c = 1,06.

Задача 3.18. Найти путевой расход топлива автобуса массой 7900 кг. Скорость движения 75 км/ч; коэффициент сопротивления дороги 0,02; фактор обтекаемости 2,1 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,91; удельный расход бензина при максимальной мощности двигателя 280 г/(кВт·ч); коэффициенты: $k_Е$ = 0,98; $k_И$ = 1,21; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.19. Легковой автомобиль полной массой 1425 кг разгоняется на подъёме с продольным уклоном 0,05 и коэффициентом сопротивления качению 0,012. Определить путевой расход топлива при скорости движения 90 км/ч и ускорении автомобиля 0,7 м/с^2. Коэффициент обтекаемости автомобиля 0,32; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 1,82 м^2; КПД трансмиссии 0,94; удельный расход топлива бензинового двигателя 273 г/(кВт·ч); коэффициент учёта вращающихся масс 1,12; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.20. Микроавтобус разгоняется на подъёме с уклоном 0,05 и коэффициентом сопротивления качению 0,015. Определить путевой расход топлива при скорости движения 72 км/ч и ускорении 0,75 м/с^2. Масса автобуса 3250 кг; коэффициент обтекаемости 0,45; плотность воздуха

1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 3,4 м^2; КПД трансмиссии 0,93; удельный расход топлива двигателя 250 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,75 кг/л; коэффициент учёта вращающихся масс 1,09.

Задача 3.21. Определить путевой расход топлива грузового автомобиля полной массой 25 т, движущегося по длинному подъёму с продольным уклоном 6% с постоянной скоростью 54 км/ч. КПД трансмиссии 0,86; фактор обтекаемости 2,9 Н·с^2/м^2; коэффициент сопротивления качению 0,014; удельный расход топлива двигателя 215 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,83 кг/л.

Задача 3.22. Определить путевой расход топлива грузового автомобиля, который движется с постоянной скоростью 60 км/ч на подъёме с углом 4°. Полная масса автомобиля 7400 кг; фактор обтекаемости 2,1 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,91; удельный расход топлива двигателя 210 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; коэффициент сопротивления качению 0,017.

Задача 3.23. Определить путевой расход топлива грузового автомобиля, который движется с постоянной скоростью 36 км/ч по длинному подъёму с продольным углом 5°. Полная масса автомобиля 16 т; фактор обтекаемости 2,7 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,85. На указанном режиме работы удельный расход топлива двигателя 210 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; коэффициент сопротивления качению 0,016.

Задача 3.24. При движении легкового автомобиля с установившейся скоростью путевой расход топлива составлял 9,5 л/100 км. Определить расход топлива при последующем разгоне автомобиля с ускорением 0,9 м/с^2, если на единицу углового ускорения вала двигателя приходится увеличение расхода на 0,25 л/100 км. Передаточные числа трансмиссии: коробки передач 2,12, главной передачи 3,9; радиус качения колёс 0,26 м.

Задача 3.25. Автопоезд движется с постоянной скоростью 55 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,021, расходуя на 100 км пути 60 л дизельного топлива. Фактор обтекаемости автопоезда 3,2 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,84; удельный расход топлива двигателя 208 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л. Определить массу прицепа, если масса тягача 18 т.

Задача 3.26. Грузовой автомобиль движется с постоянной скоростью по дороге с коэффициентом сопротивления 0,05. Каким будет ускорение автомобиля при выезде на дорогу с коэффициентом сопротивления 0,03, если путевой расход топлива останется неизменным. Коэффициент учёта вращающихся масс 1,15.

Задача 3.27. Автобус массой 10800 кг движется на подъёме с постоянной скоростью 54 км/ч. Коэффициент сопротивления качению 0,012; коэффициент сопротивления воздуха 0,52 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 5,6 м^2; КПД трансмиссии 0,89; удельный расход дизельного топлива двигателя 242 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; датчик мгновенного

расход топлива на панели приборов автобуса выдаёт показание 76 л/100 км. Каков продольный уклон дороги?

Задача 3.28. Грузовой автомобиль полной массой 15 т движется по дороге с коэффициентом сопротивления 0,016 со скоростью 55 км/ч. Фактор обтекаемости 4,6 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,89; коэффициент учёта вращающихся масс 1,08; удельный расход дизельного топлива 205 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л. При каком ускорении автомобиля путевой расход топлива будет равен 50 л/100 км?

Задача 3.29. Какую скорость может развить легковой автомобиль при разгоне с ускорением 0,6 м/с^2 на дороге с коэффициентом сопротивления 0,012, если максимальный расход бензина ему ограничили величиной 15 л/100 км. Полная масса автомобиля 1400 кг; коэффициент обтекаемости 0,35; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь поперечного сечения кузова 2,1 м^2; КПД трансмиссии 0,93; удельный расход бензина 300 г/(кВт·ч); коэффициент учёта вращающихся масс 1,05; плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.30. Автобус движется с установившейся скоростью по дороге с коэффициентом сопротивления 0,04. Найти ускорения автобуса при движении по дорогам с коэффициентами сопротивления 0,02 и 0,01, если путевой расход топлива при этом останется неизменным; коэффициент учёта вращающихся масс 1,065.

Задача 3.31. Автопоезд движется с постоянной скоростью 72 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,022, расходуя 55 л/100 км дизельного топлива. Удельный расход топлива двигателя 200 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; фактор обтекаемости автопоезда 2,9 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,83. Определить массу прицепа, если масса тягача 15 т.

Задача 3.32. При каком ускорении легковой автомобиль большого класса, движущийся по дороге с коэффициентом сопротивления 0,018 со скоростью 120 км/ч, расходует 21 л топлива на 100 км пути? Масса автомобиля 2945 кг; фактор обтекаемости 0,64 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,92; коэффициент учёта вращающихся масс 1,075; удельный расход топлива двигателя 270 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,75 кг/л.

Задача 3.33. Междугородный автобус полной массой 11 т движется на подъёме с постоянной скоростью 60 км/ч. Коэффициент сопротивления воздуха 0,52 Н·с^2/м^4; площадь миделя 5,9 м^2; КПД трансмиссии 0,88; удельный расход дизельного топлива двигателя 210 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,82 кг/л; путевой расход топлива по показаниям контрольного прибора 60 л/100 км; коэффициент сопротивления качению 0,014. Определить продольный уклон дороги, преодолеваемый автобусом.

Задача 3.34. Расход топлива при установившемся движении автомобиля 11 л/100 км. Найти расход топлива при разгоне автомобиля, если на

единицу углового ускорения вала двигателя приходится увеличение расхода топлива 0,2 л/100 км. Ускорение при разгоне 1,5 м/с^2; передаточные числа: коробки передач 3,08, главной передачи 4,6; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,31 м.

Задача 3.35. Определить, какую скорость может развить автобус при разгоне с ускорением 0,25 м/с^2 на дороге с коэффициентом сопротивления 0,02 при путевом расходе топлива 35 л/100 км. Масса автобуса 6800 кг; фактор обтекаемости 4,15 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,87; удельный расход топлива двигателя 220 г/(кВт·ч); коэффициент учёта вращающихся масс 1,06; плотность топлива 0,83 кг/л.

Задача 3.36. Грузовой автомобиль массой 18400 кг при движении на четвёртой передаче со скоростью 54 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,031 имеет путевой расход дизельного топлива 53 л/100 км. Определить путевой расход топлива при движении с той же скоростью по той же дороге на третьей передаче. Максимальная стендовая мощность двигателя 154 кВт при частоте вращения вала 2640 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,92; коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,7; b = 1,32; c = 1,02. Передаточные числа: четвёртой и третьей передач коробки передач 1,00 и 1,43 соответственно, главной передачи 6,32. Коэффициент обтекаемости автомобиля 0,94; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 4,75 м^2; КПД трансмиссии 0,87 на третьей передаче и 0,9 – на четвёртой; радиус качения колёс 0,49 м.

Задача 3.37. Грузовой автомобиль движется на подъёме с постоянной скоростью 50 км/ч. Масса автомобиля 8440 кг; коэффициент сопротивления воздуха 0,56 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 4,3 м^2; КПД трансмиссии 0,88; удельный расход топлива двигателя 220 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,83 кг/л; коэффициент сопротивления качению 0,015. Какой подъём преодолевает автомобиль, если расходомер информирует о мгновенном путевом расходе топлива 106 л/100 км.

Задача 3.38. На рис. 3.8 показана топливно-экономическая характеристика полноприводного автомобиля, не имеющего межосевого дифференциала. Разность радиусов качения передних и задних ведущих колёс вызывает увеличение коэффициента сопротивления качению на 0,025. Найти перерасход топлива при включении переднего моста на участке дороги длиной 150 км, если коэффициент сопротивления дороги при движении автомобиля с выключённым передним мостом 0,015, а скорость движения 72 км/ч.

Задача 3.39. Два легковых автомобиля движутся с одинаковой установившейся скоростью 100 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,022. На одном из них установлен карбюраторный двигатель, удельный расход топлива которого 320 г/(кВт·ч), на другом – с распределённым

впрыском, удельный расход топлива которого ниже на 70 г/(кВт·ч). Определить, на сколько километров запас хода второго автомобиля больше, чем первого. Полная масса 1520 кг; фактор обтекаемости 0,46 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,92; ёмкость топливного бака 55 л; плотность топлива 0,75 кг/л.

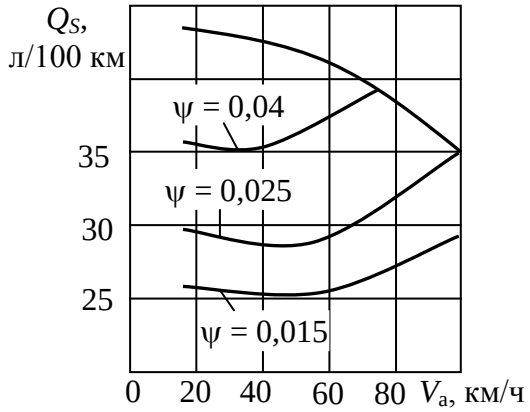


Рис. 3.8. Топливно-экономическая характеристика полноприводного автомобиля

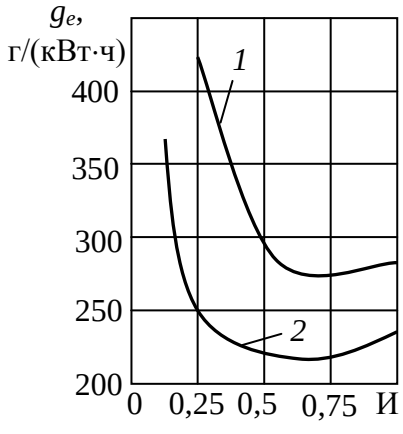


Рис. 3.9. Дроссельные характеристики двигателей:
1 – карбюраторного; *2* – дизельного

Задача 3.40. Найти, на сколько процентов уменьшится путевой расход топлива грузового автомобиля, если вместо карбюраторного двигателя будет установлен дизельный двигатель. Полная масса автомобиля 8700 кг; фактор обтекаемости 2,7 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,89. Расчёт произвести для случая движения автомобиля со скоростью 70 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,025. Максимальная мощность по внешней скоростной характеристике, развиваемая обоими двигателями при соответствующей частоте вращения вала, равна 92 кВт. Для решения использовать дроссельные характеристики двигателей, представленные на рис. 3.9. Плотность дизельного топлива 0,82 кг/л, плотность бензина 0,75 кг/л.

Задача 3.41. Грузовой автомобиль полной массой 6200 кг движется с грузом 4000 кг со скоростью 72 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,03. Фактор обтекаемости 2,2 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,91; удельный расход топлива двигателя 250 г/(кВт·ч); плотность дизельного топлива 0,82 кг/л. Определить удельный расход топлива автомобиля.

Задача 3.42. По условиям задач 3.4 и 3.12 определить, во сколько раз изменится удельный расход топлива автопоезда по сравнению с удельным расходом топлива одиночного автомобиля. Грузоподъёмности автомобиля-тягача и прицепа 14 т и 10 т соответственно.

Задача 3.43. Используя приведённую на рис. 3.10 топливную характеристику грузового автомобиля на ровном участке асфальтированного

шоссе, найти удельные расходы топлива при скоростях 40 и 60 км/ч, если автомобиль загружен на 100, 75 и 50%. Грузоподъёмность автомобиля 4 т.

Задача 3.44. Грузовой автомобиль движется с грузом 3000 кг со скоростью 72 км/ч по дороге, характеризуемой коэффициентом сопротивления 0,03. Полная масса автомобиля 5790 кг; фактор обтекаемости 2,4 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,88; удельный расход топлива двигателя 310 г/(кВт·ч); плотность топлива 0,75 кг/л Определить удельный расход топлива автомобиля.

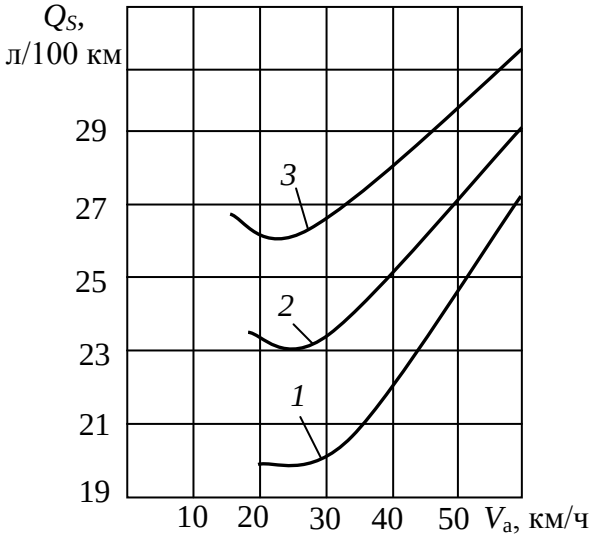


Рис. 3.10. Топливная характеристика грузового автомобиля:
1 – без груза; *2* – с грузом 2 т; *3* – с грузом 4 т

Задача 3.45. Автобус на 52 посадочных места полной массой 12250 кг движется со скорость 90 км/ч. Удельный расход топлива дизельного двигателя 200 г/(кВт·ч); фактор обтекаемости автобуса 3,75 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,89; коэффициент сопротивления дороги 0,02; плотность топлива 0,82 кг/л. Определить удельный расход топлива автобуса.

Задача 3.46. Грузовой автомобиль полной массой 15305 кг движется с грузом 8000 кг со скоростью 60 км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления 0,014. Коэффициент сопротивления воздуха 0,68 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 6,9 м^2; КПД трансмиссии 0,85; удельный расход топлива двигателя 220 г/(кВт·ч); плотность дизельного топлива 0,82 кг/л. Определить удельный расход топлива автомобиля.

Задача 3.47. Автомобиль перевёз груз массой 8 т на расстояние 120 км. Определить расход топлива при нормах: на движение автомобиля 25 л/100 км и на единицу транспортной работы 1,2 л/(100 т·км).

Задача 3.48. Грузовой автомобиль совершил три ездки на расстояния 245, 410 и 120 км с грузом 5, 7 и 6 т соответственно. Нормы расхода топлива: на движение автомобиля 21 л/100 км; на единицу транспортной работы 1,4 л/(100 т·км). Рассчитать общий расход топлива.

Задача 3.49. Определить расход топлива по нормам для автопоезда, состоящего из седельного тягача и полуприцепа, при перевозке груза массой 16,5 т в одном направлении и 17,5 т в обратном направлении на расстояние 300 км. Нормы расхода топлива: на движение автомобиля 37 л/100 км; на единицу транспортной работы 1,5 л/(100 т·км).

Задача 3.50. Автопоезд, состоящий из тягача с прицепом, совершил три поездки на расстояния 800; 1200; 900 км с грузом 20; 22; 19 т соответственно. Найти общий расход топлива при нормах: на движение автомобиля 39 л/100 км; на единицу транспортной работы 1,2 л/(100 т·км).

4. ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА И ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Основные формулы

1. Параметры работы гидродинамических передач:

– передаточное отношение

$$i = \frac{\omega_т}{\omega_н} = \frac{n_т}{n_н}; \tag{4.1}$$

– коэффициент трансформации

$$K = \frac{T_т}{T_н}; \tag{4.2}$$

– коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{P_т}{P_н} = \frac{T_т \omega_т}{T_н \omega_н} = Ki, \tag{4.3}$$

где $\omega_н$ ($n_н$) – угловая скорость (частота вращения) насоса, рад/с (об/мин); $\omega_т$ ($n_т$) – угловая скорость (частота вращения) турбины, рад/с (об/мин); $T_н$ – крутящий момент на насосе, Н·м; $T_т$ – крутящий момент на турбине, Н·м; $P_н$ – мощность на насосе, кВт; $P_т$ – мощность на турбине, кВт.

2. Безразмерная характеристика гидродинамической передачи

Коэффициент крутящего момента насоса

$$\lambda_н = \frac{T_н}{\rho_ж D_а^5 \omega_н^2}. \tag{4.4}$$

Коэффициент прозрачности

$$\Pi = \frac{\lambda_{н0}}{\lambda_{н.м}}, \tag{4.5}$$

где $T_н$ – крутящий момент, необходимый для вращения насоса, Н·м; $\rho_ж$ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3; $D_а$ – активный диаметр, м; $\omega_н$ – угловая скорость насоса, рад/с; $\lambda_{н0}$ – коэффициент крутящего момента насоса при неподвижной турбине; $\lambda_{н.м}$ – коэффициент крутящего момента насоса при коэффициенте трансформации, равном единице.

3. Входная (нагрузочная) характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор»

Параметры насоса:

– угловая скорость (частота вращения) [рад/с (об/мин)]

$$\omega_{\text{н}}(n_{\text{н}}) = \frac{\omega_e(n_e)}{u_{\text{с.р}}}; \tag{4.6}$$

– крутящий момент двигателя, подводимый к насосу (Н·м),

$$T_{e\text{н}} = k_{\text{с}} T_e^{\text{с}} u_{\text{с.р}} \eta_{\text{с.р}}; \tag{4.7}$$

– крутящий момент, необходимый для вращения насоса (Н·м),

$$T_{\text{н}} = \lambda_{\text{н}} \rho_{\text{ж}} D_{\text{а}}^5 \omega_{\text{н}}^2, \tag{4.8}$$

где ω_e – угловая скорость вала двигателя, рад/с; n_e – частота вращения вала двигателя, об/мин; $u_{\text{с.р}}$ – передаточное число согласующего редуктора; $k_{\text{с}}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $T_e^{\text{с}}$ – эффективный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; $\eta_{\text{с.р}}$ – КПД согласующего редуктора.

4. Выходная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор»

Параметры турбины:

– угловая скорость (частота вращения) [рад/с (об/мин)]

$$\omega_{\text{т}}(n_{\text{т}}) = \omega_{\text{н}}(n_{\text{н}}) i; \tag{4.9}$$

– крутящий момент (Н·м),

$$T_{\text{т}} = T_{\text{н}} K; \tag{4.10}$$

– мощность (кВт)

$$P_{\text{т}} = \frac{T_{\text{т}} \omega_{\text{т}}}{1000} = \frac{T_{\text{т}} n_{\text{т}}}{9550}. \tag{4.11}$$

5. Уравнение движения автомобиля с гидромеханической трансмиссией

Скорость движения автомобиля:

– в м/с

$$V = \frac{\omega_{\text{т}} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0} = \frac{0{,}105 n_{\text{т}} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0}; \tag{4.12}$$

– в км/ч

$$V_{\text{а}} = \frac{3{,}6\omega_{\text{т}} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0} = \frac{0{,}378 n_{\text{т}} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0}. \tag{4.13}$$

Тяговая сила на ведущих колёсах (Н)

$$F_{\text{т}} = \frac{T_{\text{т}} u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0 \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}}. \tag{4.14}$$

Тяговая мощность на ведущих колесах (кВт)

$$P_{\text{тяг}} = P_{\text{т}} \eta_{\text{тр}}. \tag{4.15}$$

Сила сопротивления разгону (Н)

$$F_a = \delta m_{\text{а}} a_{\text{а}}. \tag{4.16}$$

Коэффициент учёта вращающихся масс автомобиля с прозрачным гидротрансформатором

$$\delta = 1 + \frac{\left\{\left[\left(\gamma_e k_{\text{с}} T_e^{\text{с}} + J_e\right) u_{\text{с.р}} \eta_{\text{с.р}} + J_{\text{с.р}} + J_{\text{н}}\right] K \dfrac{d\omega_{\text{н}}}{d\omega_{\text{т}}} + J_{\text{т}}\right\} u_{\text{к}}^2 u_{\text{д}}^2 u_0^2 \eta_{\text{тр}}}{m_{\text{а}} r_{\text{д}} r_{\text{к}}} + \\ + \frac{J_{\text{тр}} + \sum J_{\text{к}}}{m_{\text{а}} r_{\text{д}} r_{\text{к}}}. \tag{4.17}$$

В формулах (4.12)…(4.17) $\omega_{\text{т}}$ – угловая скорость турбины, рад/с; $n_{\text{т}}$ – частота вращения турбины, об/мин; $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущих колёс, м; $u_{\text{с.р}}$, $u_{\text{к}}$, $u_{\text{д}}$, u_0 – передаточные числа согласующего редуктора, коробки передач, дополнительной передачи, главной передачи соответственно; $T_{\text{т}}$ – крутящий момент на турбине, Н·м; $\eta_{\text{с.р}}$ и $\eta_{\text{тр}}$ – КПД согласующего редуктора и механической части трансмиссии; $r_{\text{д}}$ – динамический радиус ведущих колёс, м; $P_{\text{т}}$ – мощность на турбине, кВт; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; $a_{\text{а}}$ – ускорение разгона автомобиля, м/с^2; γ_e – коэффициент, учитывающий ускорение вращения вала двигателя, с^2/рад; $k_{\text{с}}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $T_e^{\text{с}}$ – стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; J_e, $J_{\text{с.р}}$, $J_{\text{н}}$, $J_{\text{т}}$, $J_{\text{тр}}$,

$\sum J_{\text{к}}$ – моменты инерции вращающихся частей двигателя, согласующего редуктора, насоса, турбины, трансмиссии, колёс соответственно, кг·м^2.

6. Тягово-скоростные свойства автомобиля с гидромеханической трансмиссией

Уравнение силового баланса автомобиля (Н):

– в общем виде

$$F_{\text{т}} = F_{\psi} + F_{\text{в}} + F_{a} + F_{\text{с}x}; \tag{4.18}$$

– в развёрнутом виде

$$\frac{T_{\text{т}} u_{\text{к}} u_{\text{д}} u_0 \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}} = \psi G_{\text{а}} + WV^2 + \delta m_{\text{а}} a_{\text{а}} + F_{\text{с}x}. \tag{4.19}$$

Уравнение мощностного баланса автомобиля (кВт):

– в общем виде

$$P_{\text{тяг}} = P_{\psi} + P_{\text{в}} + P_{a} + P_{\text{с}x}, \tag{4.20}$$

– в развёрнутом виде

$$P_{\text{т}} \eta_{\text{тр}} = \frac{\psi G_{\text{а}} V + WV^3 + \delta m_{\text{а}} a_{\text{а}} V + F_{\text{с}x} V}{1000}. \tag{4.21}$$

7. Топливная экономичность автомобиля с гидромеханической трансмиссией

Уравнение путевого расхода топлива (л/100 км):

– в общем виде

$$Q_S = \frac{g_{\text{д}}\left(P_{\psi} + P_{\text{в}} + P_{a}\right)}{36V\rho_{\text{т}} k_{\text{с}} \eta_{\text{с.р}} \eta \eta_{\text{тр}}} = \frac{g_{\text{д}}\left(F_{\psi} + F_{\text{в}} + F_{a}\right)}{36000\,\rho_{\text{т}} k_{\text{с}} \eta_{\text{с.р}} \eta \eta_{\text{тр}}}; \tag{4.22}$$

– в развёрнутом виде

$$Q_S = \frac{g_{\text{д}}\left(\psi G_{\text{а}} + WV^2 + \delta m_{\text{а}} a_{\text{а}}\right)}{36000\,\rho_{\text{т}} k_{\text{с}} \eta_{\text{с.р}} \eta \eta_{\text{тр}}}. \tag{4.23}$$

Параметр безразмерной характеристики

$$\frac{\lambda_{\text{н}} K}{i^2} = \frac{1000\left(P_{\psi} + P_{\text{в}}\right) r_{\text{д}} r_{\text{к}}^2}{\rho_{\text{ж}} D_{\text{а}}^5 V^3 u_{\text{к}}^3 u_{\text{д}}^3 u_0^3 \eta_{\text{тр}}}, \tag{4.24}$$

где $g_{\text{д}}$ – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт·ч); $k_{\text{с}}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $\eta_{\text{с.р}}$, η, $\eta_{\text{тр}}$ – КПД согласующего редуктора, гидротрансформатора, механической части трансмиссии соответственно.

8. Определение параметров гидромеханической трансмиссии

– активный диаметр $D_{\text{а}}$ (м)

$$D_{\text{а}} = \sqrt[5]{\frac{T_{\text{н.р}}}{\lambda_{\text{н.р}} \rho_{\text{ж}} \omega_{\text{н.р}}^2}} = \sqrt[5]{\frac{91{,}2 T_{\text{н.р}}}{\lambda_{\text{н.р}} \rho_{\text{ж}} n_{\text{н.р}}^2}}; \tag{4.25}$$

– передаточное число согласующего редуктора

$$u_{\text{с.р}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_{\text{н.р}} \rho_{\text{ж}} D_{\text{а}}^5 \omega_{e\text{р}}^2}{T_{e\text{р}} \eta_{\text{с.р}}}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_{\text{н.р}} \rho_{\text{ж}} D_{\text{а}}^5 n_{e\text{р}}^2}{91{,}2 T_{e\text{р}} \eta_{\text{с.р}}}}; \tag{4.26}$$

где $T_{\text{н.р}}$ и $T_{e\text{р}}$ – расчётные крутящие моменты насоса и двигателя соответственно, Н·м; $\lambda_{\text{н.р}}$ – расчётный коэффициент крутящего момента насоса; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3; $\omega_{\text{н.р}}$ ($n_{\text{н.р}}$) – расчётные угловая скорость (частота вращения) насоса, рад/с (об/мин); $\omega_{e\text{р}}$ ($n_{e\text{р}}$) – расчётные угловая скорость (частота вращения) вала двигателя, рад/с (об/мин); $\eta_{\text{с.р}}$ – КПД согласующего редуктора.

Параметры механической части трансмиссии

– передаточное число главной передачи

$$u_0 = \frac{\omega_{\text{т}V} r_{\text{к}}}{V_{\max} u_{\text{к}\min} u_{\text{д}\min}}; \tag{4.27}$$

– максимальное передаточное число трансмиссии:

- из условия преодоления максимального сопротивления дороги

$$u_{\text{тр}\psi} = \frac{\psi_{\max} m_{\text{а}} g r_{\text{д}}}{T_{\text{т}\eta} \eta_{\text{тр}}}; \tag{4.28}$$

- из условия отсутствия буксования ведущих колёс

$$u_{\text{тр}\varphi} = \frac{\varphi_x m_{\text{сц}} g r_{\text{д}}}{T_{\text{т}\eta}\eta_{\text{тр}}}; \tag{4.29}$$

– диапазон передаточных чисел коробки передач

$$\text{Д}_{\text{к}} = \frac{u_{\text{тр}\max}}{u_{\text{тр}\min}} = \frac{u_{\text{кI}}}{u_{\text{к.в}}}; \tag{4.30}$$

– знаменатель геометрической прогрессии ряда передаточных чисел коробки передач

$$q = \frac{\omega_{\text{н}2} i_{\text{м}}}{\omega_{\text{н}1} i_{\text{э}}}; \tag{4.31}$$

– число ступеней коробки передач

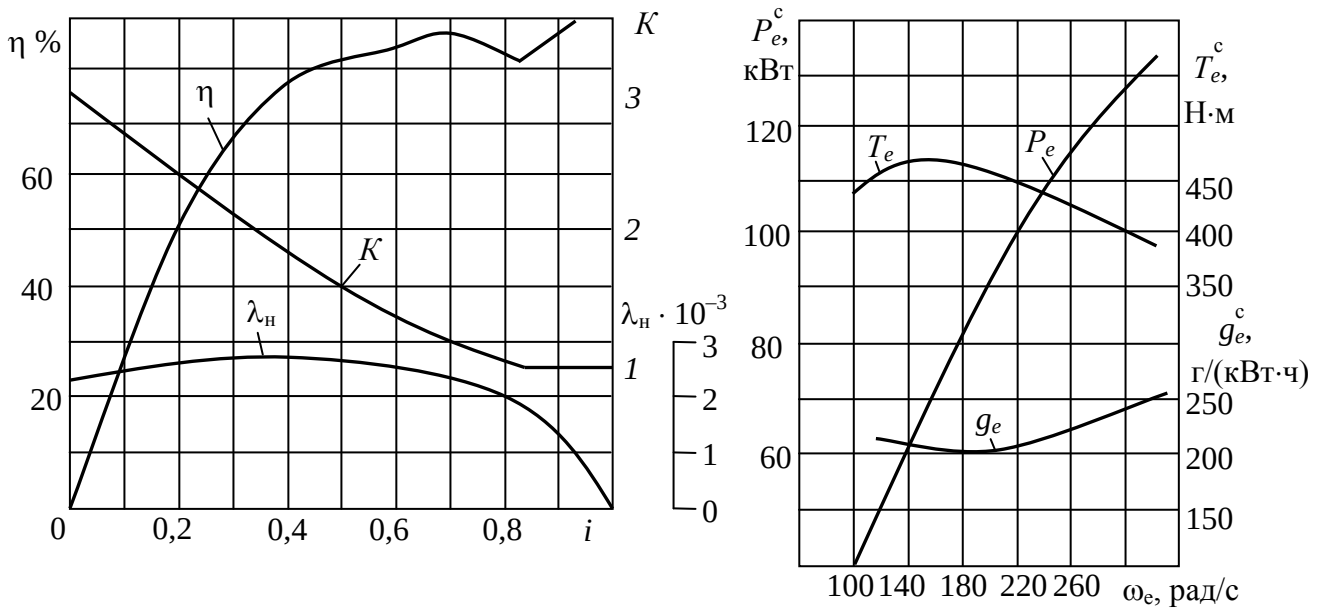
$$n_{\text{к}} = 1 + \frac{\lg \text{Д}_{\text{к}}}{\lg q}, \tag{4.32}$$

где $\omega_{\text{т}V}$ – угловая скорость турбины при максимальной скорости автомобиля, рад/с; $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущих колёс, м; $V_{\max}$ – максимальная скорость автомобиля, м/с; $u_{\text{к}\min}$ – минимальное передаточное число коробки передач; $u_{\text{д}\min}$ – минимальное передаточное число дополнительной передачи; $\psi_{\max}$ – максимальный коэффициент сопротивления дороги; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $T_{\text{т}\eta}$ – крутящий момент турбины при максимальном КПД гидротрансформатора, Н·м; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД механической части трансмиссии; φ_x – максимальный коэффициент продольного сцепления колёс с опорной поверхностью; $m_{\text{сц}}$ – сцепная масса автомобиля, кг; $u_{\text{к}\max}$ и $u_{\text{к}\min}$ – максимальное и минимальное передаточные числа коробки передач; $u_{\text{кI}}$ и $u_{\text{к.в}}$ – передаточные числа первой и высшей ступеней коробки передач; $i_{\text{э}}$ и $i_{\text{м}}$ – минимальное и максимальное значения передаточного отношения гидротрансформатора, при которых КПД не ниже 80%; $\omega_{\text{н}1}$ и $\omega_{\text{н}2}$ – угловые скорости насоса при передаточных отношениях $i_{\text{э}}$ и $i_{\text{м}}$ соответственно, рад/с.

Примеры решения типовых задач

Пример 4.1. На рис. 4.1 показаны характеристики составных частей городского автобуса: безразмерная характеристика гидротрансформатора (рис. 4.1, *а*) и внешняя скоростная характеристика двигателя (рис. 4.1, *б*).

Активный диаметр гидротрансформатора 0,34 м; плотность рабочей жидкости 850 кг/м^3; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9. Определить координаты точки совместной работы системы «двигатель – гидротрансформатор» при передаточном отношении гидротрансформатора 0,6. Согласующий редуктор отсутствует.



а *б*

Рис. 4.1. Характеристики:
а – безразмерная гидротрансформатора; *б* – внешняя скоростная двигателя

Дано: η; К; $\lambda_н = f(i)$; $P_e^с$; $T_e^с$; $g_e^с = f(\omega_e)$; $D_а = 0{,}34$ м; $\rho_ж = 850$ кг/м^3; $k_с = 0{,}9$; $i = 0{,}6$; $u_{с.р} = 1$; $\eta_{с.р} = 1$.

Определить: $\omega_н$; $T_н$.

Решение: Параметры насоса при $u_{с.р} = 1$ и $\eta_{с.р} = 1$:

– угловая скорость

$$\omega_н = \frac{\omega_e}{u_{с.р}} = \omega_e \text{ рад/с};$$

– крутящий момент двигателя, подводимый к насосу,

$$T_{eн} = k_с T_e^с u_{с.р} \eta_{с.р} = k_с T_e^с \text{ Н·м};$$

– коэффициент крутящего момента насоса при $i = 0{,}6$ по зависимости $\lambda_н = f(i)$ на рис. 4.1, *а*

$$\lambda_н = 2{,}56 \cdot 10^{-3};$$

– крутящий момент, необходимый для вращения насоса,

$$T_{н} = \lambda_{н}\rho_{ж}D_{а}^{5}\omega_{н}^{2} = 2{,}56 \cdot 10^{-3} \cdot 850 \cdot 0{,}34^{5}\omega_{н}^{2} = 9{,}887 \cdot 10^{-3}\omega_{н}^{2}\ \text{Н·м}.$$

Результаты расчётов моментов $T_{eн}$ и $T_{н}$ при угловых скоростях насоса 100; 140; 180; 220; 260; 300; 335 рад/с приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Зависимости моментов от угловой скорости

ω_e, рад/с	100	140	180	220	260	300	335
$T_e^{с}$, Н·м	439	463	463	453	431	408	390
$T_{eн}$, Н·м	395	417	417	408	388	367	351
$T_{н}$, Н·м	99	194	320	479			

По данным табл. 4.1 построена входная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» (рис. 4.2). В точке *A* совместной работы двигателя с гидротрансформатором угловая скорость насоса 208 рад/с, крутящий момент на насосе 402 Н·м.

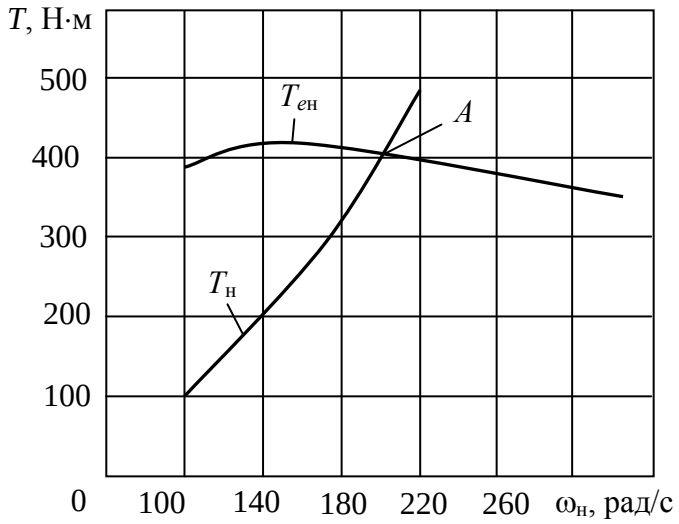


Рис. 4.2. Входная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» городского автобуса

Ответ: $\omega_{н}$ = 208 рад/с; $T_{н}$ = 402 Н·м.

Пример 4.2. С использованием безразмерной характеристики гидротрансформатора (рис. 4.1, *а*) и входной характеристики системы «двигатель – гидротрансформатор» (рис. 4.2) городского автобуса найти угловую скорость турбины, крутящий момент и мощность на турбине при передаточном отношении гидротрансформатора 0,6.

Дано: К = *f* (*i*); $T_{eн}$ и $T_{н}$ = *f* ($\omega_{н}$); *i* = 0,6.

Определить: $\omega_{т}$; $T_{т}$; $P_{т}$.

Решение: Исходные данные для расчёта:

– коэффициент трансформации гидротрансформатора при передаточном отношении i = 0,6 по безразмерной характеристике (рис. 4.1, *а*)

$$K = 1{,}37;$$

– угловая скорость насоса гидротрансформатора при передаточном отношении i = 0,6 по входной характеристике в точке *А* совместной работы (рис. 4.2)

$$\omega_н = 208 \text{ рад/с};$$

– крутящий момент на насосе гидротрансформатора при передаточном отношении i = 0,6 по входной характеристике в точке *А* совместной работы (рис. 4.2)

$$T_н = 402 \text{ Н·м}.$$

Параметры турбины:

– угловая скорость

$$\omega_т = \omega_н\, i = 208 \cdot 0{,}6 = 125 \text{ рад/с};$$

– крутящий момент

$$T_т = T_н K = 402 \cdot 1{,}37 = 551 \text{ Н·м};$$

– мощность

$$P_т = \frac{T_т \omega_т}{1000} = \frac{551 \cdot 125}{1000} = 68{,}9 \text{ кВт}.$$

Ответ: $\omega_т$ = 125 рад/с; $T_т$ = 551 Н·м; $P_т$ = 68,9 кВт.

Пример 4.3. Легковой автомобиль движется с максимальной скоростью на второй передаче в коробке передач. Масса автомобиля 3150 кг; коэффициент обтекаемости 0,4; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; габаритная ширина 2,02 м; габаритная высота 1,525 м; коэффициент полноты сечения 0,8; статический радиус колёс с диагональными шинами 0,38 м; передаточные числа: коробки передач 1,56, главной передачи 3,58; КПД механической части трансмиссии 0,93. Максимальное передаточное отношение гидротрансформатора 0,975; коэффициент трансформации 1,0; угловая скорость насоса и крутящий момент на насосе в точке совместной работы 535 рад/с и 205 Н·м соответственно. Определить угол подъёма, который может преодолеть автомобиль при коэффициенте сопротивления качению 0,023.

Дано: $m_а$ = 3150 кг; c_x = 0,4; $\rho_в$ = 1,225 кг/м^3; $B_г$ = 2,02 м; $H_г$ = 1,525 м; $\alpha_п$ = 0,8; $r_{ст}$ = 0,38 м; $r_к$ = 1,02 $r_{ст}$; $u_{кII}$ = 1,56; u_0 = 3,58; $\eta_{тр}$ = 0,93; K = 1,0; i_{max} = 0,975; $\omega_н$ = 535 рад/с; $T_н$ = 205 Н·м; f = 0,023.

Определить: α.

Решение: Параметры турбины:

– угловая скорость

$$\omega_т = \omega_н\, i = 535 \cdot 0{,}975 = 522 \text{ рад/с};$$

– крутящий момент

$$T_т = T_н K = 205 \cdot 1 = 205 \text{ Н·м}.$$

Радиусы ведущих колёс:

– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}38 \text{ м};$$

– качения

$$r_к = 1{,}02 r_{ст} = 1{,}02 \cdot 0{,}38 = 0{,}388 \text{ м}.$$

Скорость автомобиля

$$V = \frac{\omega_т r_к}{u_к u_0} = \frac{522 \cdot 0{,}388}{1{,}56 \cdot 3{,}58} = 36{,}3 \text{ м/с}.$$

Параметры обтекаемости автомобиля:

– площадь миделя

$$A_в = \alpha_п B_г H_г = 0{,}8 \cdot 2{,}02 \cdot 1{,}525 = 2{,}46 \text{ м}^2;$$

– фактор обтекаемости

$$W = 0{,}5 c_x \rho_в A_в = 0{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}225 \cdot 2{,}46 = 0{,}6 \text{ Н·с}^2/\text{м}^2.$$

Силы, действующие на автомобиль:

– тяговая сила на ведущих колёсах

$$F_т = \frac{T_т u_{кII} u_0 \eta_{тр}}{r_д} = \frac{205 \cdot 1{,}56 \cdot 3{,}58 \cdot 0{,}93}{0{,}38} = 2802 \text{ Н};$$

– сила сопротивления воздуха

$$F_в = WV^2 = 0{,}6 \cdot 36{,}3^2 = 791 \text{ Н};$$

– сила тяжести

$$G_а = m_а g = 3150 \cdot 9{,}81 = 30902 \text{ Н}.$$

Динамический фактор автомобиля

$$D = \frac{F_т - F_в}{G_а} = \frac{2802 - 791}{30902} = 0{,}065 .$$

При движении с постоянной скоростью коэффициент сопротивления дороги

$$\psi = f + \text{tg}\alpha = D ,$$

откуда $\alpha = \text{arctg}(D - f) = \text{arctg}(0{,}065 - 0{,}023) = \text{arctg}0{,}042 = 2{,}4° = 2°24'$.

Ответ: $\alpha = 2°24'$.

Пример 4.4. Определить путевой расход топлива городского автобуса с гидромеханической трансмиссией при движении со скоростью 16 м/с на прямой передаче коробки передач по дороге с коэффициентом сопротивления 0,015. Безразмерная характеристика гидротрансформатора приведена на рис. 4.1, *а*, внешняя скоростная характеристика двигателя – на рис. 4.1, *б*, вспомогательный график параметров безразмерной характеристики – на рис. 4.3. Масса автобуса 14100 кг; фактор обтекаемости 2,8 Н·с^2/м^2; КПД механической части трансмиссии 0,92; передаточное число главной передачи 7,61; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,488 м. Коэффициенты, зависящие от степени использования угловой скорости вращения вала и мощности двигателя, описываются уравнениями $k_Е = 1{,}25 - 0{,}99\,Е + 0{,}98\,Е^2 - 0{,}24\,Е^3$ и
$k_И = 3{,}27 - 8{,}22\,И + 9{,}13\,И^2 - 3{,}18\,И^3$ соответственно; плотность топлива 0,75 кг/л. Активный диаметр гидротрансформатора 0,34 м; плотность рабочей жидкости 850 кг/м^3; коэффициент коррекции 0,9.

Дано: $V = 16$ м/с; $u_к = 1{,}0$; $\psi = 0{,}015$; η; К; $\lambda_н = f(i)$; $P_e^с$; $T_e^с$; $g_e^с = f(\omega_e)$; $\lambda_н К / i^2 = f(i)$; $m_а = 14100$ кг; $W = 2{,}8$ Н·с^2/м^2; $\eta_{тр} = 0{,}92$; $u_0 = 7{,}61$; $r_{ст} = 0{,}488$ м; $r_к = 1{,}04\, r_{ст}$; $k_Е = f(Е)$; $k_И = f(И)$; $\rho_т = 0{,}75$ кг/л; $D_а = 0{,}34$ м; $\rho_ж = 850$ кг/м^3; $k_с = 0{,}9$.

Определить: Q_S.

Решение: Радиусы колёс:

– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}488 \text{ м};$$

– качения

$$r_к = 1{,}04 r_{ст} = 1{,}04 \cdot 0{,}488 = 0{,}508 \text{ м.}$$

Мощности, затрачиваемые на преодоление сопротивлений:

– дороги

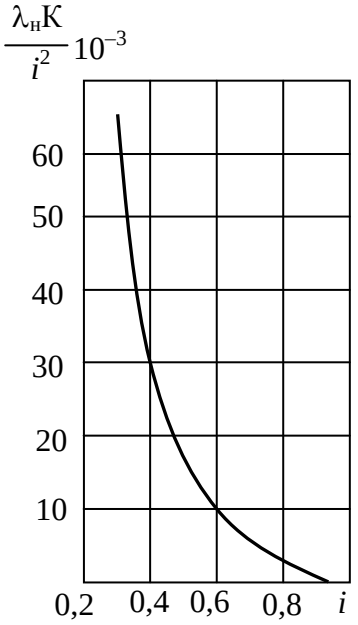


Рис. 4.3. Вспомогательный график параметров безразмерной характеристики гидротрансформатора

$$P_ψ = ψ G_а V = ψ m_а g V = 0{,}015 \cdot 14{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 16 = 33{,}2 \text{ кВт;}$$

– воздуха

$$P_в = \frac{WV^3}{1000} = \frac{2{,}8 \cdot 16^3}{1000} = 11{,}47 \text{ кВт.}$$

Параметры гидротрансформатора:

– вспомогательный параметр

$$\frac{λ_н К}{i^2} = \frac{1000\left(P_ψ + P_в\right) r_д r_к^2}{ρ_ж D_а^5 V^3 u_к^3 u_0^3 η_{тр}} = \frac{1000 \cdot \left(33{,}2 + 11{,}47\right) \cdot 0{,}488 \cdot 0{,}508^2}{850 \cdot 0{,}34^5 \cdot 16^3 \cdot 7{,}61^3 \cdot 0{,}92} = 0{,}88 \cdot 10^{-3};$$

– передаточное отношение

при $\frac{λ_н К}{i^2} = 0{,}88 \cdot 10^{-3}$ по графику (рис. 4.3) i = 0,925;

– КПД

при i = 0,925 по графику безразмерной характеристики (рис. 4.1, *а*) η = 0,89.

Определение удельного расхода топлива двигателя:

– угловая скорость вала двигателя

$$\omega_e = \omega_н = \frac{Vu_к u_0}{ir_к} = \frac{16 \cdot 1{,}0 \cdot 7{,}61}{0{,}925 \cdot 0{,}508} = 259 \text{ рад/с};$$

– угловая скорость вала двигателя при максимальной мощности по графику внешней скоростной характеристики (рис. 4.1, *б*) ω_{eP} = 335 рад/с;

– степень использования угловой скорости

$$Е = \frac{\omega_e}{\omega_{eP}} = \frac{259}{335} = 0{,}773;$$

– коэффициент $k_Е$

$$k_Е = 1{,}25 - 0{,}99\,Е + 0{,}98\,Е^2 - 0{,}24\,Е^3 = 1{,}25 - 0{,}99 \cdot 0{,}773 +$$

$$+ 0{,}98 \cdot 0{,}773^2 - 0{,}24 \cdot 0{,}773^3 = 0{,}959;$$

– мощность нагрузки двигателя

$$P_д = \frac{P_ψ + P_в}{k_с \eta \eta_{тр}} = \frac{33{,}2 + 11{,}47}{0{,}9 \cdot 0{,}89 \cdot 0{,}92} = 60{,}62 \text{ кВт};$$

– стендовая мощность двигателя по внешней скоростной характеристике (рис. 4.1, б) при ω_e = 259 рад/с $P_e^с = 115$ кВт;

– степень использования мощности двигателя

$$И = \frac{P_д}{P_e^с} = \frac{60{,}62}{115} = 0{,}527;$$

– коэффициент $k_И$

$$k_И = 3{,}27 - 8{,}22\,И + 9{,}13\,И^2 - 3{,}18\,И^3 = 3{,}27 - 8{,}22 \cdot 0{,}527 +$$

$$+ 9{,}13 \cdot 0{,}527^2 - 3{,}18 \cdot 0{,}527^3 = 1{,}034;$$

– удельный расход топлива двигателя при максимальной мощности по графику внешней скоростной характеристики (рис. 4.1, *б*) g_{eP} = = 258 г/(кВт·ч);

– удельный расход топлива двигателя

$$g_д = g_{eP}\, k_Е\, k_И = 258 \cdot 0{,}959 \cdot 1{,}034 = 256 \text{ г/(кВт·ч)}.$$

Путевой расход топлива автобуса

$$Q_S = \frac{g_д P_д}{36 V \rho_т} = \frac{256 \cdot 60{,}62}{36 \cdot 16 \cdot 0{,}75} = 35{,}9 \text{ л/100 км.}$$

Ответ: Q_S = 35,9 л/100 км.

Пример 4.5. Найти передаточное число первой передачи коробки передач карьерного самосвала с гидромеханической трансмиссией. Масса самосвала 80 т; коэффициент использования сцепного веса 67,2%; коэффициент изменения нормальных реакций на ведущие колёса 1,1; КПД механической части трансмиссии 0,9; на режиме максимального КПД гидротрансформатора коэффициент трансформации 1,25 и момент на насосе 2100 Н·м; передаточное число главной передачи 25,4; размер шин 570–838; коэффициент формы профиля шин 0,85; коэффициент нормальной деформации шин 0,89; коэффициент продольного сцепления 0,6; максимальный угол преодолеваемого подъёма не менее 15°; коэффициент сопротивления качению 0,05.

Дано: $m_а$ = 80 т; $k_{сц}$ = 0,672; m_{R2} = 1,1; $\eta_{тр}$ = 0,9; К = 1,25; $T_{нη}$ = 2100 Н·м; u_0 = 25,4; $B_ш$ = 0,57 м; d = 0,838 м; $\Delta_ш$ = 0,85; λ_z = 0,89; φ_x = 0,6; α_{max} = 15°; f = 0,05.

Определить: $u_{кI}$.

Решение: Радиусы колёс:

– статический

$$r_{ст} = 0{,}5d + \lambda_z \Delta_ш B_ш = 0{,}5 \cdot 0{,}838 + 0{,}89 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}57 = 0{,}85 \text{ м;}$$

– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}85 \text{ м.}$$

Максимальный коэффициент сопротивления дороги

$$\psi_{max} = f\cos\alpha_{max} + \sin\alpha_{max} = 0{,}05 \cos 15° + \sin 15° =$$

$$= 0{,}05 \cdot 0{,}9659 + 0{,}2588 = 0{,}305.$$

Момент на турбине на режиме максимального КПД

$$T_{тη} = T_{нη} К = 2100 \cdot 1{,}25 = 2625 \text{ Н·м.}$$

Максимальные передаточные числа трансмиссии:

– из условия преодоления максимального сопротивления дороги

$$u_{\text{тр}\psi} = \frac{\psi_{\max} m_{\text{а}} g r_{\text{д}}}{T_{\text{тη}} \eta_{\text{тр}}} = \frac{0{,}305 \cdot 80000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}85}{2625 \cdot 0{,}9} = 86{,}12\,;$$

– из условия отсутствия буксования ведущих колёс

$$u_{\text{тр}\varphi} = \frac{\varphi_x m_{\text{сц}} g r_{\text{д}}}{T_{\text{тη}} \eta_{\text{тр}}} = \frac{\varphi_x m_{R2} m_{\text{а}2} g r_{\text{д}}}{T_{\text{тη}} \eta_{\text{тр}}} = \frac{0{,}6 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}672 \cdot 80000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}89}{2625 \cdot 0{,}9} = 125{,}23\,.$$

Передаточное число первой передачи коробки передач:
– из условия преодоления максимального сопротивления дороги

$$u_{\text{кI}\psi} = \frac{u_{\text{тр}\psi}}{u_0} = \frac{86{,}12}{25{,}4} = 3{,}39\,;$$

– из условия отсутствия буксования ведущих колёс

$$u_{\text{кI}\varphi} = \frac{u_{\text{тр}\varphi}}{u_0} = \frac{125{,}23}{25{,}4} = 4{,}93\,;$$

$$3{,}39 < 4{,}93;\ u_{\text{кI}\psi} < u_{\text{кI}\varphi};\ u_{\text{кI}} = u_{\text{кI}\psi} = 3.39.$$

Ответ: $u_{\text{кI}} = 3{,}39$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 4.1. На рис. 4.4 показана безразмерная характеристика гидротрансформатора с тремя вариантами (1, 2 и 3) изменения коэффициента крутящего момента насоса. Определить коэффициенты прозрачности гидротрансформатора для каждого варианта изменения коэффициента момента насоса.

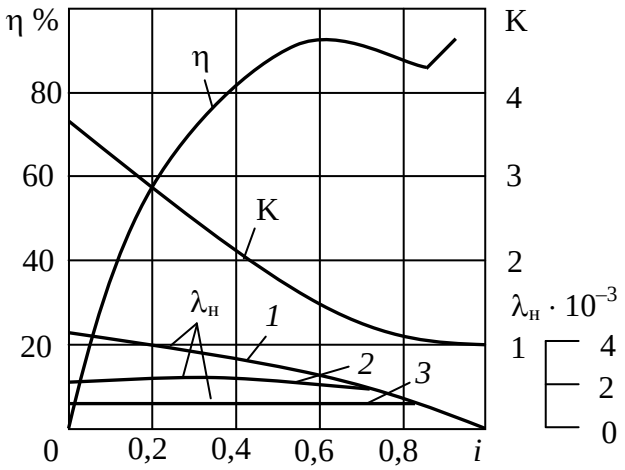
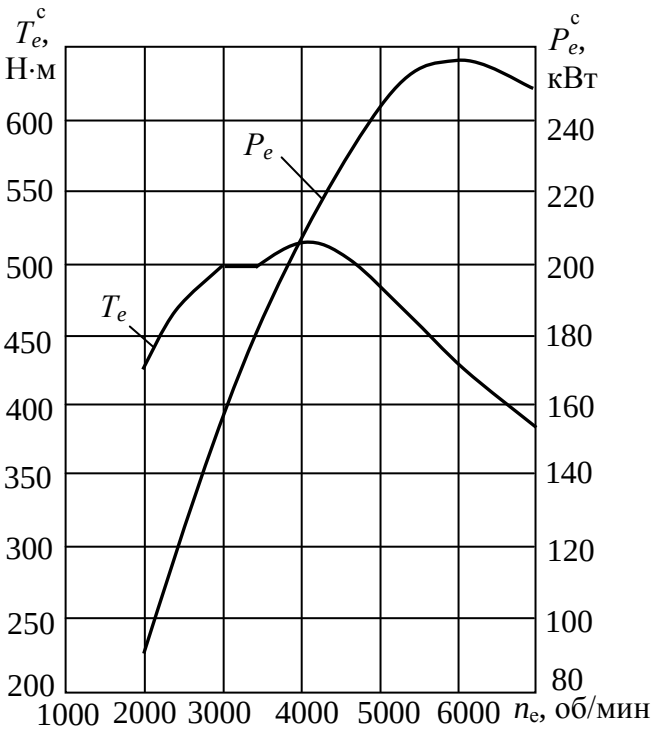
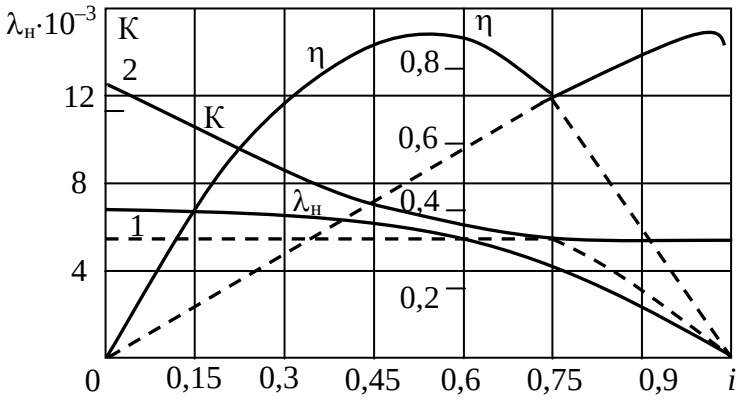


Рис. 4.4. Безразмерная характеристика гидротрансформатора

Задача 4.2. На рис. 4.5 показаны характеристики агрегатов легкового автомобиля большого класса: внешняя скоростная характеристика двигателя (рис. 4.5, *а*) и безразмерная характеристика гидротрансформатора (рис. 4.5, *б*). Активный диаметр гидротрансформатора 0,27 м; плотность рабочей жидкости 850 кг/м^3; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95. Найти координаты точек совместной работы системы «двигатель – гидротрансформатор» при передаточных отношениях 0; 0,45; 0,9.



а



б

Рис. 4.5. Характеристики:
а – внешняя скоростная двигателя; *б* – безразмерная гидротрансформатора

Задача 4.3. На рис. 4.6, а показана безразмерная характеристика гидротрансформатора, на рис. 4.6, б – входная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» легкового автомобиля. Рассчитать угловую скорость турбины, крутящий момент и мощность на турбине при передаточных отношениях 0; 0,9; 0,97.

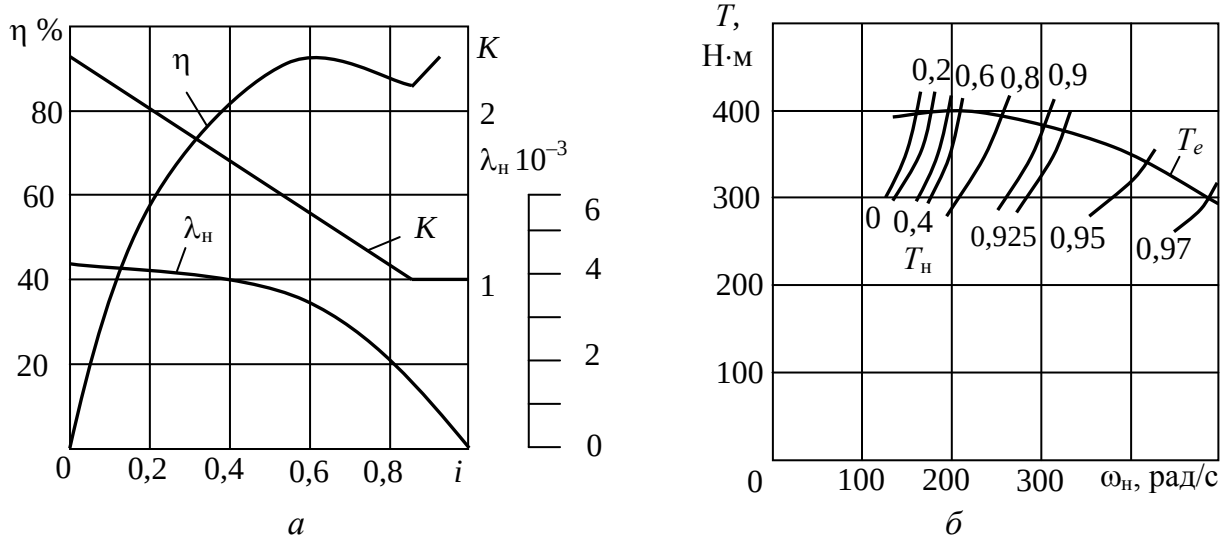


Рис. 4.6. Характеристики:
а – безразмерная гидротрансформатора *б* – входная системы «двигатель – гидротрансформатор»

Задача 4.4. На рис. 4.7 представлена выходная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» карьерного самосвала. Полная масса самосвала 52 т; фактор обтекаемости 10 Н·с^2/м^2; КПД механической части трансмиссии 0,9; передаточные числа коробки передач 3,84; 2,27; 1,50; 1,055; 0,625; главной передачи 16,2; радиус колёс 0,75 м; коэффициент сопротивления качению 0,03. Определить максимальную скорость и тяговую силу на ведущих колёсах самосвала на пятой передаче коробки передач. Во сколько раз тяговая сила на этой передаче при трогании с места больше, чем при движении с максимальной скоростью.

Задача 4.5. По условию задачи 4.4 определить, на каких передачах возможно движение самосвала со скоростью 20 км/ч и рассчитать величины ускорений, с которыми он может разгоняться с этой скорости. Коэффициенты учёта вращающихся масс на передачах: 2,46; 1,84; 1,41; 1,15; 1,06.

Задача 4.6. По условию задачи 4.4 найти степень использования мощности двигателя при скорости 20 км/ч на тех передачах коробки передач, на которых возможно движение с этой скоростью.

Задача 4.7. По условию задачи 4.4 найти максимальные углы подъёмов, на которых самосвал может тронуться с места на всех передачах коробки передач.

Задача 4.8. По условию задачи 4.4 определить динамический фактор самосвала при движении на пятой передаче со скоростью 50 км/ч. Во

сколько раз возрастёт его величина при трогании самосвала с места на этой передаче.

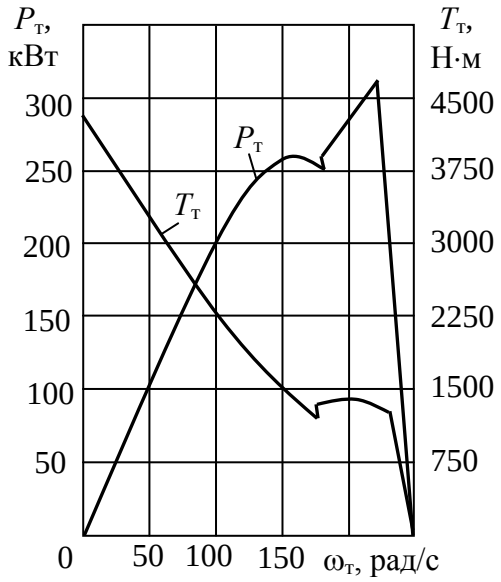


Рис. 4.7. Выходная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» карьерного самосвала

Задача. 4.9. В табл. 4.2 представлены параметры выходной характеристики системы «двигатель – гидротрансформатор» легкового автомобиля. Масса автомобиля 2500 кг; фактор обтекаемости 0,6 Н·с^2/м^2; статический радиус колёс с диагональными шинами 0,38 м; передаточные числа: автоматической коробки передач 2,78; 1,56; 1,00; 0,73; главной передачи 3,58; КПД механической части трансмиссии 0,93. Определить динамический фактор автомобиля на прямой передаче коробки передач при передаточном отношении гидротрансформатора 0,9. На сколько процентов изменится его величина у модификации автомобиля полной массой 3150 кг?

Таблица 4.2 – Параметры выходной характеристики

i	0	0,4	0,6	0,75	0,9	0,925	0,95	0,975
$\omega_т$, рад/с	0	64	105	150	243	296	366	522
$T_т$, Н·м	416	251	210	183	190	201	210	205

Задача 4.10. По условию задачи 4.9 найти ускорения разгона автомобиля на первой передаче автоматической коробки передач при передаточных отношениях гидротрансформатора 0 и 0,975. При названных передаточных отношениях коэффициенты трансформации гидротрансформатора 2,6 и 1,0; $d\omega_н/ d\omega_т$ 0,12 и 0,97 соответственно. Моменты инерции: вращающихся частей двигателя 0,3 кг·м^2, насоса 0,4 кг·м^2, турбины 0,2 кг·м^2, колёс 4,7 кг·м^2. Коэффициент сопротивления качению 0,015.

Задача 4.11. На рис. 4.8 показан график ускорений легкового автомобиля высшего класса с гидромеханической трансмиссией. Определить время разгона до скорости 160 км/ч.

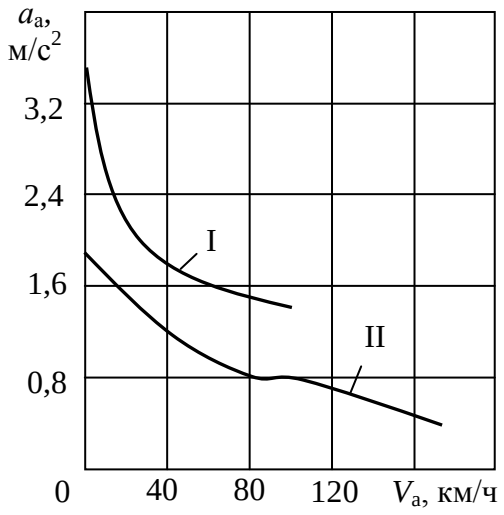


Рис. 4.8. График ускорений легкового автомобиля

Задача 4.12. В табл. 4.3 приведена зависимость от времени разгона скорости карьерного самосвала с гидромеханической трансмиссией. Рассчитать путь разгона самосвала до скорости 40 км/ч.

Таблица 4.3. Зависимость скорости движения от времени разгона карьерного самосвала

$V_а$, км/ч	0	5	10	15	20	25	30	35	40
t, с	0	1	2,5	5	8	11,5	16	22	28,5

Задача 4.13. По условию задачи, приведённой в качестве примера 4.4, рассчитать расход топлива городского автобуса с гидромеханической трансмиссией при движении на прямой передаче со скоростью 12 м/с по дороге с коэффициентом сопротивления 0,03.

Задача 4.14. На рис. 4.9 представлены характеристики агрегатов карьерного самосвала: безразмерная характеристика гидротрансформатора (рис. 4.9, *а*) и внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя (рис. 4.9, *б*). Масса самосвала 48 т; фактор обтекаемости 10 Н·с^2/м^2; КПД механической части трансмиссии 0,9; передаточные числа: высшей передачи коробки передач 0,7, главной передачи 16,2; статический радиус колёс 0,7 м. Коэффициенты, зависящие от степени использования угловой скорости вала и мощности двигателя, описываются аналитическими зависимостями

$k_Е = 1{,}25 - 0{,}99\ Е + 0{,}98\ Е^2 - 0{,}24\ Е^3$ и $k_И = 1{,}2 + 0{,}14\ И - 1{,}82\ И^2 + 1{,}46\ И^3$

соответственно; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95; удельный расход топлива двигателя при максимальной мощности 230 г/(кВт·ч); плотность дизельного топлива 0,85 кг/л; активный диаметр гидротрансформатора 0,465 м; плотность рабочей жидкости 850 кг/м^3. Определить путевой расход топлива при движении самосвала на высшей передаче коробки передач со скоростью 12 м/с по дороге с коэффициентом сопротивления 0,03.

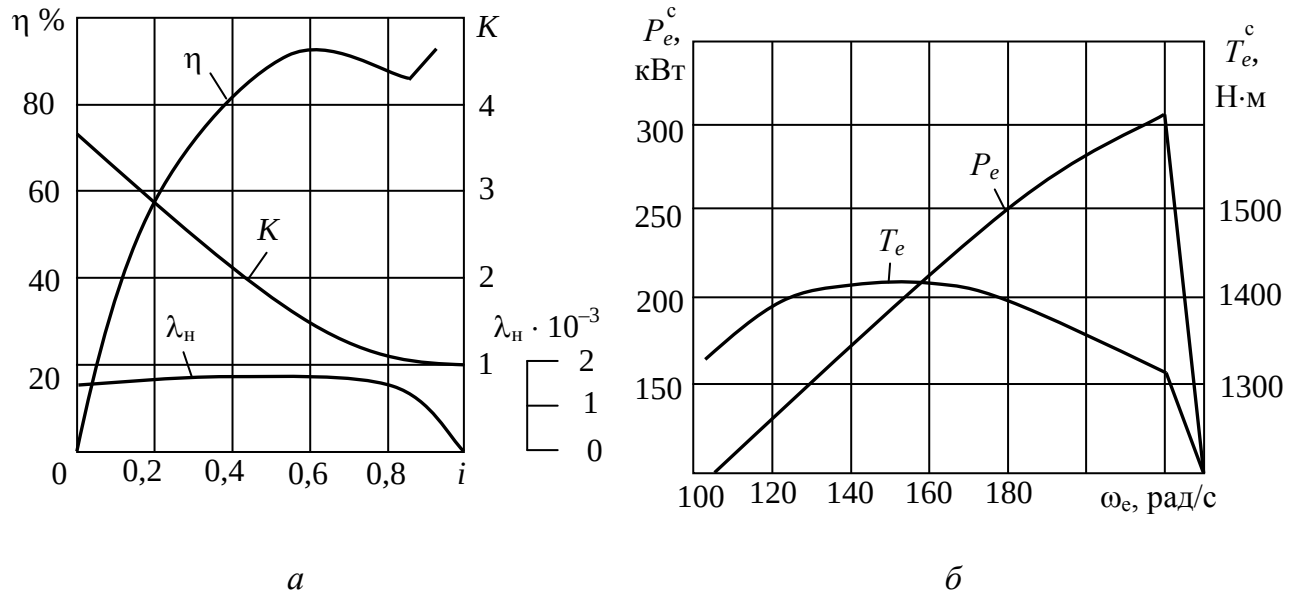


Рис. 4.9. Характеристики:
а – безразмерная гидротрансформатора; *б* – внешняя скоростная двигателя

Задача 4.15. Двигатель легкового автомобиля развивает максимальную стендовую мощность 235 кВт при частоте вращения 5000 об/мин и максимальный крутящий момент 605 Н·м при 2800 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,93. Подобрать активный диаметр гидротрансформатора из условия обеспечения на стоповом режиме угловой скорости вращения вала двигателя, составляющей половину от угловой скорости на режиме максимальной мощности. Коэффициент крутящего момента насоса на стоповом режиме $3{,}08 \cdot 10^{-3}$; плотность рабочей жидкости гидротрансформатора 850 кг/м^3.

Задача 4.16. Подобрать передаточное число согласующего редуктора карьерного самосвала при установке гидротрансформатора с активным диаметром 0,466 м с таким расчётом, чтобы двигатель развивал стендовый крутящий момент 1035 Н·м при частоте вращения вала 1500 об/мин; КПД согласующего редуктора 0,96; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; коэффициент крутящего момента насоса $1{,}8 \cdot 10^{-3}$; плотность рабочей жидкости 860 кг/м^3.

Задача 4.17. Рассчитать передаточное число первой передачи коробки передач легкового автомобиля, безразмерная характеристика гидротрансформатора которого показана на рис. 4.5, *б*. Масса автомобиля 3150 кг; статический радиус колёс 0,38 м; КПД механической части трансмиссии 0,93; передаточное число главной передачи 3,58; на режиме максимального КПД гидротрансформатора крутящий момент насоса 175 Н·м; коэффициент сопротивления дороги 0,165.

Задача 4.18. Найти передаточное число первой передачи коробки передач карьерного самосвала с гидромеханической трансмиссией. Масса самосвала 72 т; коэффициент использования сцепного веса 0,67; коэффициент изменения нормальных реакций на ведущие колёса 1,1; КПД механической части трансмиссии 0,9; на режиме максимального КПД гидротрансформатора коэффициент трансформации 1,3 и момент на насосе 1950 Н·м; передаточное число главной передачи 22,4; размер шин 570–838; коэффициент формы профиля шин 0,85; коэффициент нормальной деформации шин 0,87; коэффициент продольного сцепления 0,6; максимальный подъём 16% на карьерных дорогах с коэффициентом сопротивления 0,05.

Задача 4.19. Определить передаточное число главной передачи легкового автомобиля большого класса, безразмерная характеристика гидротрансформатора которого представлена на рис. 4.6, *а*. При максимальной скорости движения автомобиля КПД гидротрансформатора 0,96 и угловая скорость вращения вала двигателя 484 рад/с. Масса автомобиля 3165 кг; коэффициент обтекаемости 0,4; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 2,4 м^2; радиус качения колёс 0,37 м; коэффициент сопротивления качению при максимальной скорости движения 0,038; КПД механической части трансмиссии на высшей передаче 0,91; стендовая мощность двигателя при угловой скорости вращения его вала, соответствующей максимальной скорости движения, 153 кВт; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; высшая передача в коробке передач прямая.

Задача 4.20. Определить минимальное число ступеней коробки передач гидромеханической трансмиссии легкового автомобиля большого класса. Безразмерная характеристика гидротрансформатора показана на рис. 4.6, *а*, входная характеристика системы «двигатель – гидротрансформатор» – на рис. 4.6, *б*. Передаточное число низшей ступени коробки передач 3,5, высшей ступени – 1,00.

5. ТОРМОЗНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Уравнение движения автомобиля при торможении

Уравнения движения тормозящего колеса (Н):

– при торможении колёсным тормозным механизмом

$$R_x = \frac{T_\tau}{r_д} + f_с R_z - \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д}; \qquad (5.1)$$

– при совместном торможении колёсным тормозным механизмом и моторным тормозом-замедлителем

$$R_x = \frac{T_\tau}{r_д} + \frac{T_{т.д} u_{тр}}{r_д \eta'_{тр}} + f_с R_z - \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д} - \frac{J_e \varepsilon_e u_{тр}}{r_д \eta'_{тр}}; \qquad (5.2)$$

– при торможении с полным использованием силы сцепления колеса с опорной поверхностью

$$R_{x\,\max} = \varphi_x R_z = \frac{T_{\tau\varphi}}{r_д} + f_с R_z - \frac{J_к \varepsilon_к}{r_д}, \qquad (5.3)$$

где R_x и $R_{x\max}$ – продольные реакции, действующие на тормозящее колесо, при неполном и полном использовании силы сцепления колеса с опорной поверхностью соответственно, Н; T_τ – тормозной момент, создаваемый колёсным тормозным механизмом, Н·м; $r_д$ – динамический радиус колеса, м; $f_с$ – коэффициент сопротивления качению; R_z – нормальная реакция на колесо со стороны опорной поверхности, Н; $J_к$ – момент инерции колеса, кг·м^2; $\varepsilon_к$ – угловое замедление колеса, рад/с^2; $T_{т.д}$ – момент трения в двигателе, Н·м; $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; $\eta'_{тр}$ – обратный КПД трансмиссии; J_e – момент инерции вращающихся деталей двигателя, кг·м^2; ε_e – угловое замедление вала двигателя, рад/с^2; φ_x – коэффициент продольного сцепления колеса с опорной поверхностью; $T_{т\varphi}$ – момент тормозящего колеса по сцеплению с опорной поверхностью, Н·м.

Уравнение движения автомобиля при торможении (Н):

– в общем виде

$$F_a - F_\tau - F_{т.д} - F_f \pm F_i - F_в - F_{сх} = 0; \qquad (5.4)$$

– в развёрнутом виде

$$\delta_\tau m_а a_\tau - \frac{\sum T_\tau}{r_д} - \frac{T_{т.д} u_{тр}}{r_д \eta'_{тр}} - fG_а \cos\alpha \pm G_а \sin\alpha - WV^2 - F_{сх} = 0. \quad (5.5)$$

Коэффициент учёта вращающихся масс при торможении автомобиля с неотсоединённым двигателем

$$\delta_\tau = 1 + \frac{J_e u_{тр}^2}{m_а r_д r_к \eta'_{тр}} + \frac{\sum J_к}{m_а r_д r_к}, \quad (5.6)$$

где F_a – сила инерции автомобиля, Н; F_τ – тормозная сила автомобиля, Н; $F_{т.д}$ – тормозная сила двигателя, Н; F_f – сила сопротивления качению автомобиля, Н; F_i – сила сопротивления подъёму или скатывающая сила на спуске, Н; $F_в$ – сила сопротивления воздуха, Н; $F_{сх}$ – сила сопротивления прицепа, Н; $m_а$ – масса автомобиля, кг; $a_т$ – замедление автомобиля при торможении, м/с^2; $\sum T_\tau$ – суммарный тормозной момент на всех колёсах автомобиля, Н·м; $G_а$ – вес автомобиля, Н; α – угол подъёма или спуска дороги, рад или град; W – фактор обтекаемости автомобиля, Н·с^2/м^2; $r_к$ – радиус качения тормозящих колёс, м; $\sum J_к$ – суммарный момент инерции всех колёс автомобиля, кг·м^2.

2. Торможение автомобиля с неполным использованием сил сцепления

Уравнение тормозного баланса автомобиля (Н)

$$F_a = F_\tau + F_{т.д} + F_в + F_\psi + F_{сх}. \quad (5.7)$$

Тормозной динамический фактор автомобиля

$$D_\tau = \frac{F_\tau + F_{т.д} + F_в}{G_а}. \quad (5.8)$$

Удельная сила тяги на крюке

$$k_{кр} = \frac{F_{сх}}{G_а}. \quad (5.9)$$

Показатели эффективности торможения:

– замедление (м/с^2)

$$a_\tau = \frac{(D_\tau + \psi + k_{кр})g}{\delta_\tau}; \quad (5.10)$$

– время торможения (с)

$$t_{\text{т}} = \frac{V_{\text{н}} - V_{\text{к}}}{a_{\tau\text{ср}}} = \frac{V_{\text{а.н}} - V_{\text{а.к}}}{3{,}6a_{\tau\text{ср}}}; \tag{5.11}$$

– тормозной путь (м)

$$S_{\text{т}} = \frac{V_{\text{н}}^2 - V_{\text{к}}^2}{2a_{\tau\text{ср}}} = \frac{V_{\text{а.н}}^2 - V_{\text{а.к}}^2}{25{,}92a_{\tau\text{ср}}}, \tag{5.12}$$

где F_{ψ} – сила сопротивления дороги, Н; ψ – коэффициент сопротивления дороги; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $V_{\text{н}}$ ($V_{\text{а.н}}$) – начальная скорость торможения, м/с (км/ч); $V_{\text{к}}$ ($V_{\text{а.к}}$) – конечная скорость торможения, м/с (км/ч); $a_{\tau\text{ср}}$ – среднее замедление, м/с^2.

3. Торможение автомобиля с полным использованием сил сцепления

Максимальное замедление при экстренном торможении автомобиля (м/с^2)

$$a_{\tau\max} = \frac{\left[(\varphi_x + f_{\text{с}})\cos\alpha \pm \sin\alpha + \gamma_{\text{в}} + k_{\text{кр}}\right] g}{\delta_{\tau\text{т}}}. \tag{5.13}$$

Остановочное время (с)

$$t_{\text{о}} = t_{\text{р.в}} + t_{\text{з}} + \frac{t_{\text{н}}}{2} + \frac{V_0}{a_{\tau\max}}. \tag{5.14}$$

Остановочный путь (м)

$$S_{\text{о}} = V_0\left(t_{\text{р.в}} + t_{\text{з}} + \frac{t_{\text{н}}}{2}\right) + \frac{V_0^2}{2a_{\tau\max}}. \tag{5.15}$$

Удельная сила сопротивления воздуха

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{F_{\text{в}}}{G_{\text{а}}} = \frac{WV^2}{G_{\text{а}}}. \tag{5.16}$$

Коэффициент учёта вращающихся масс при экстренном торможении

$$\delta_{\tau\text{т}} = 1 + \frac{\sum J_{\text{к}}}{m_{\text{а}} r_{\text{д}} r_{\text{к}}}, \tag{5.17}$$

где $t_{р.в}$ – время реакции водителя, с; $t_з$ – время запаздывания тормозного привода, с; $t_н$ – время нарастания замедления, с; V_0 – начальная скорость при торможении автомобиля, м/с.

4. Оптимальное распределение тормозных сил

Коэффициент распределения тормозных сил между осями автомобиля

$$\beta_\tau = \frac{b + \varphi_x h_g}{a - \varphi_x h_g}. \tag{5.18}$$

Замедления автомобиля (м/с^2):

– при оптимальном распределении тормозных сил ($\varphi_x = \varphi_{xр}$)

$$a_{\tau max} = \varphi_x g; \tag{5.19}$$

– при неоптимальном распределении тормозных сил, когда первыми блокируются передние колёса ($\varphi_x < \varphi_{xр}$),

$$a_\tau = \frac{\varphi_x b(1+\beta_\tau)g}{L\beta_\tau - \varphi_x h_g(1+\beta_\tau)}; \tag{5.20}$$

– при неоптимальном распределении тормозных сил, когда первыми блокируются задние колёса ($\varphi_x > \varphi_{xр}$),

$$a_\tau = \frac{\varphi_x a(1+\beta_\tau)g}{L + \varphi_x h_g(1+\beta_\tau)}, \tag{5.21}$$

где a, b, h_g – расстояния от центра масс до передней, задней осей и поверхности дороги соответственно, м; φ_x и $\varphi_{xр}$ – действительный и расчётный коэффициенты продольного сцепления соответственно; g – ускорение свободного падения, м/с^2; L – база автомобиля, м.

5. Эффективность запасной, стояночной и вспомогательной тормозных систем автомобиля

Эффективность запасной тормозной системы:

– замедление при торможении передних колёс при отказе контура задних колёс (м/с^2)

$$a_\tau = \frac{(\varphi_x b + f_с a)g}{L - (\varphi_x - f_с)h_g}; \tag{5.22}$$

– замедление при торможении задних колёс при отказе контура передних колёс (м/с^2)

$$a_\tau = \frac{(\varphi_x a + f_c b)g}{L + (\varphi_x - f_c)h_g}. \qquad (5.23)$$

Суммарный тормозной момент, создаваемый стояночной тормозной системой на заторможенных колёсах (Н·м),

$$\sum T_{\tau c} \geq G_a r_д \sin\alpha. \qquad (5.24)$$

Тормозной момент, создаваемый тормозом-замедлителем (Н·м),

$$T_{т.з} = \frac{\left(G_a i r_д - f_c G_a r_д - WV^2 r_д - F_{cx} r_д\right)\eta_{т.з}}{u_{т.з}}, \qquad (5.25)$$

где φ_x – коэффициент продольного сцепления; f_c – коэффициент сопротивления качению; a, b, h_g – расстояния от центра масс до передней, задней осей и поверхности дороги соответственно, м; L – база автомобиля, м; G_a – вес автомобиля, Н; $r_д$ – динамический радиус колёс, м; α – продольный угол дороги, рад или град; i – продольный уклон дороги; W – фактор обтекаемости автомобиля, Н·с^2/м^2; V – скорость автомобиля, м/с; F_{cx} – сила сопротивления прицепа, Н; $\eta_{т.з}$ и $u_{т.з}$ – КПД и передаточное число привода от тормоза-замедлителя до колёс соответственно.

Примеры решения типовых задач

Пример 5.1. Грузовой автомобиль тормозит на спуске с уклоном 10%. Полная масса автомобиля 12 т; фактор обтекаемости 3,4 Н·с^2/м^2; начальная скорость торможения 80 км/ч; коэффициент сопротивления качению 0,014; коэффициент учёта вращающихся масс 1,071; статический радиус колёс 0,495 м. Определить тормозной момент, создаваемый рабочей тормозной системой, необходимый для обеспечения замедления при торможении, равного 4 м/с^2.

Дано: i = 10%; m_a = 12 т; W = 3,4 Н·с^2/м^2; V_{a0} = 80 км/ч; f = 0,014; δ_τ = 1,071; $r_{ст}$ = 0,495 м; a_τ = 4 м/с^2.

Определить: T_τ.

Решение: Силы, действующие на автомобиль при торможении на спуске:

– сила инерции

$$F_a = \delta_\tau m_a a_\tau = 1{,}071 \cdot 12000 \cdot 4 = 51408 \text{ Н};$$

– скатывающая сила

$$F_i = G_а i = m_a g i = 12000 \cdot 9{,}81\left(\frac{10}{100}\right) = 11772 \text{ Н};$$

– сила сопротивления качению

$$F_f = fG_а = fm_a g = 0{,}014 \cdot 12000 \cdot 9{,}81 = 1648 \text{ Н};$$

– сила сопротивления воздуха

$$F_в = WV^2 = 3{,}4\left(\frac{80}{3{,}6}\right)^2 = 1679 \text{ Н};$$

– тормозная сила

из уравнения движения автомобиля $F_a + F_i - F_\tau - F_f - F_в = 0$

$$F_\tau = F_a + F_i - F_f - F_в = 51408 + 11772 - 1648 - 1679 = 59853 \text{ Н}.$$

Тормозной момент при $r_д = r_{ст} = 0{,}495$ м

$$T_\tau = F_\tau r_д = 59853 \cdot 0{,}495 = 29627 \text{ Н·м} = 29{,}6 \text{ кН·м}.$$

Ответ: $T_\tau = 29{,}6$ кН·м.

Пример 5.2. Грузовой автомобиль при движении на горизонтальной дороге затормаживается моторным тормозом-замедлителем. Тормозной момент двигателя определяется зависимостью $T_{т.д} = 52{,}5 + 0{,}312\ n_e$ Н·м. Масса автомобиля 15305 кг; коэффициент сопротивления воздуха 0,78 Н·с^2/м^4; лобовая площадь 7,52 м^2; обратный КПД трансмиссии 0,82; передаточные числа: коробки передач 1,00, главной передачи 6,52; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,47 м; коэффициент сопротивления качению 0,011; момент инерции вращающихся частей двигателя 1,294 кг·м^2; момент инерции колеса 12,08 кг·м^2; число колёс 10. Определить тормозной динамический фактор автомобиля при частотах вращения вала двигателя 2600 об/мин и 1000 об/мин, а также среднюю величину замедления при изменении частоты вращения в заданном диапазоне.

Дано: $\alpha = 0$; $T_{т.д} = 52{,}5 + 0{,}312\ n_e$ Н·м; $m_а = 15305$ кг; $k_в = 0{,}78$ Н·с^2/м^4; $A_в = 7{,}52$ м^2; $\eta'_{тр} = 0{,}82$; $u_к = 1{,}00$; $u_0 = 6{,}53$; $r_{ст} = 0{,}47$ м; $r_к = 1{,}04\ r_{ст}$; $f = 0{,}011$; $J_e = 1{,}294$ кг·м^2; $J_к = 12{,}08$ кг·м^2; $n_к = 10$; $n_{e1} = 2600$ об/мин; $n_{e2} = 1000$ об/мин.

Определить: $D_{\tau1}$; $D_{\tau2}$; $a_{\tau ср}$.

Решение: Радиусы ведущих колёс:
– динамический

$$r_{\text{д}} = r_{\text{ст}} = 0{,}47 \text{ м};$$

– качения

$$r_{\text{к}} = 1{,}04 r_{\text{ст}} = 1{,}04 \cdot 0{,}47 = 0{,}49 \text{ м}.$$

Скорости автомобиля при $n_{e1} = 2600$ об/мин и $n_{e2} = 1000$ об/мин

$$V_1 = \frac{0{,}105 n_{e1} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_0} = \frac{0{,}105 \cdot 2600 \cdot 0{,}49}{1{,}00 \cdot 6{,}53} = 20{,}4 \text{ м/с};$$

$$V_2 = \frac{0{,}105 n_{e2} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}} u_0} = \frac{0{,}105 \cdot 1000 \cdot 0{,}49}{1{,}00 \cdot 6{,}53} = 7{,}9 \text{ м/с}.$$

Моменты трения в двигателе при $n_{e1} = 2600$ об/мин и $n_{e2} = 1000$ об/мин

$$T_{\text{т.д1}} = 52{,}5 + 0{,}312\, n_{e1} = 52{,}5 + 0{,}312 \cdot 2600 = 863{,}7 \text{ Н·м};$$

$$T_{\text{т.д2}} = 52{,}5 + 0{,}312\, n_{e2} = 52{,}5 + 0{,}312 \cdot 1000 = 364{,}5 \text{ Н·м}.$$

Силы, действующие на автомобиль, при $n_{e1} = 2600$ об/мин и $n_{e2} = 1000$ об/мин:
– силы трения двигателя

$$F_{\text{т.д1}} = \frac{T_{\text{т.д1}} u_{\text{к}} u_0}{r_{\text{д}} \eta'_{\text{тр}}} = \frac{863{,}7 \cdot 1{,}00 \cdot 6{,}53}{0{,}47 \cdot 0{,}82} = 14634 \text{ Н};$$

$$F_{\text{т.д2}} = \frac{T_{\text{т.д2}} u_{\text{к}} u_0}{r_{\text{д}} \eta'_{\text{тр}}} = \frac{364{,}5 \cdot 1{,}00 \cdot 6{,}53}{0{,}47 \cdot 0{,}82} = 6176 \text{ Н};$$

– силы сопротивления воздуха

$$F_{\text{в1}} = k_{\text{в}} A_{\text{в}} V_1^2 = 0{,}78 \cdot 7{,}52 \cdot 20{,}4^2 = 2441 \text{ Н};$$

$$F_{\text{в2}} = k_{\text{в}} A_{\text{в}} V_2^2 = 0{,}78 \cdot 7{,}52 \cdot 7{,}9^2 = 366 \text{ Н};$$

– сила веса

$$G_{\text{а}} = m_{\text{а}} g = 15305 \cdot 9{,}81 = 150142 \text{ Н}.$$

Тормозные динамические факторы автомобиля при $n_{e1} = 2600$ об/мин и $n_{e2} = 1000$ об/мин

$$D_{\tau 1} = \frac{F_{\text{т.д}1} + F_{\text{в}1}}{G_{\text{а}}} = \frac{14634 + 2441}{150142} = 0{,}114\,;$$

$$D_{\tau 2} = \frac{F_{\text{т.д}2} + F_{\text{в}2}}{G_{\text{а}}} = \frac{6176 + 366}{150142} = 0{,}044\,.$$

Коэффициент сопротивления дороги при $\alpha = 0$

$$\psi = f\cos\alpha + \sin\alpha = f = 0{,}011.$$

Коэффициент учёта вращающихся масс

$$\delta_{\tau} = 1 + \frac{J_e u_{\text{к}}^2 u_{\text{д}}^2}{m_{\text{а}} r_{\text{д}} r_{\text{к}} \eta'_{\text{тр}}} + \frac{J_{\text{к}} n_{\text{к}}}{m_{\text{а}} r_{\text{д}} r_{\text{к}}} = 1 + \frac{1{,}294 \cdot 1{,}00^2 6{,}53^2}{15305 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}49 \cdot 0{,}82} +$$

$$+ \frac{12{,}08 \cdot 10}{15305 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}49} = 1{,}053.$$

Замедления автомобиля:

– при $n_{e1} = 2600$ об/мин

$$a_{\tau 1} = \frac{(D_{\tau 1} + \psi) g}{\delta_{\tau}} = \frac{(0{,}114 + 0{,}011) \cdot 9{,}81}{1{,}053} = 1{,}16 \text{ м/с}^2;$$

– при $n_{e2} = 1000$ об/мин

$$a_{\tau 2} = \frac{(D_{\tau 2} + \psi) g}{\delta_{\tau}} = \frac{(0{,}044 + 0{,}011) \cdot 9{,}81}{1{,}053} = 0{,}51 \text{ м/с}^2;$$

– среднее

$$a_{\tau\text{ср}} = \frac{a_{\tau 1} + a_{\tau 2}}{2} = \frac{1{,}16 + 0{,}51}{2} = 0{,}835 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $D_{\tau 1} = 0{,}114$; $D_{\tau 2} = 0{,}044$; $a_{\tau\text{ср}} = 0{,}835$ м/с^2.

Пример 5.3. При торможении на спуске с уклоном 10% автомобиль со скорости 60 км/ч до полной остановки прошёл путь на 10 м больший, чем при торможении на таком же подъёме. Определить коэффициент продольного сцепления колёс с дорогой, если коэффициент сцепления,

начальная скорость торможения, время запаздывания тормозного привода и время нарастания замедления в обоих случаях были одинаковы.

Дано: $i_1 = -10\%$; $V_{а01} = 60$ км/ч; $S_{о1} - S_{о2} = 10$ м; $i_2 = 10\%$; $|i_1| = |i_2| = i$; $V_{а02} = V_{а01} = V_{а0}$; $t_{з2} + t_{н2} = t_{з1} + t_{н1} = t_з + t_н$.

Определить: φ_x.

Решение: Продольный угол дороги

$$\alpha = \operatorname{arctg} i = \operatorname{arctg}\left(\frac{10}{100}\right) = 5{,}71°.$$

Замедления автомобиля при торможении:

– на спуске

$$a_{\tau 1} = (\varphi_x \cos\alpha - \sin\alpha)g = (\varphi_x \cos 5{,}71° - \sin 5{,}71°)\cdot 9{,}81 =$$
$$= (9{,}76\varphi_x - 0{,}976)\ \text{м/с}^2;$$

– на подъёме

$$a_{\tau 2} = (\varphi_x \cos\alpha + \sin\alpha)g = (9{,}76\varphi_x + 0{,}976)\ \text{м/с}^2.$$

Остановочные пути автомобиля при торможении:

– на спуске

$$S_{о1} = V_0(t_з + 0{,}5t_н) + \frac{V_0^2}{2a_{\tau 1}} = \frac{60(t_з + 0{,}5t_н)}{3{,}6} + \frac{60^2}{2\cdot 3{,}6^2(9{,}76\varphi_x - 0{,}976)} =$$
$$= 16{,}7(t_з + 0{,}5t_н) + \frac{138{,}9}{9{,}76\varphi_x - 0{,}976}\ \text{м};$$

– на подъёме

$$S_{о2} = V_0(t_з + 0{,}5t_н) + \frac{V_а^2}{2a_{\tau 2}} = 16{,}7(t_з + 0{,}5t_н) + \frac{138{,}9}{9{,}76\varphi_x + 0{,}976}\ \text{м}.$$

Соотношение между остановочными путями

$$S_{о1} - S_{о2} = 16{,}7(t_з + 0{,}5t_н) + \frac{138{,}9}{9{,}76\varphi_x - 0{,}976} -$$
$$-16{,}7(t_з + 0{,}5t_н) - \frac{138{,}9}{9{,}76\varphi_x + 0{,}976} = 10\ \text{м};$$

$$138{,}9(9{,}76\varphi_x + 0{,}976 - 9{,}76\varphi_x + 0{,}976) = 10(9{,}76\varphi_x - 0{,}976)(9{,}76\varphi_x + 0{,}976);$$

$$271{,}13 = 952{,}58\varphi_x^2 - 9{,}53,$$

откуда

$$952{,}58\varphi_x^2 = 280{,}66;\ \varphi_x = \sqrt{\frac{280{,}66}{952{,}58}} = \sqrt{0{,}295} = 0{,}54.$$

Ответ: $\varphi_x = 0{,}54$.

Пример 5.4. Полная масса автобуса 16 т, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 10,2 т; база 5,8 м; высота центра масс 2,05 м. Тормозные механизмы обеспечивают одновременное доведение до предела по сцеплению всех колёс автобуса на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6. Определить тормозной путь автобуса при установившемся торможении со скорости 72 км/ч до скорости 36 км/ч на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,75, когда задние колёса доведены до блокировки, а усилие на тормозной педали остаётся неизменным в течение всего процесса торможения.

Дано: $m_а$ = 16 т; $m_{а2}$ = 10,2 т; L = 5,8 м; h_g = 2,05 м; $\varphi_{хр}$ = 0,6; $V_{а0}$ = 72 км/ч; $V_{а.к}$ = 36 км/ч; φ_x = 0,75.

Определить: $S_у$.

Решение: Расстояния от центра масс автобуса:

– до передней оси

$$a = \frac{G_{а2}L}{G_а} = \frac{m_{а2}L}{m_а} = \frac{10{,}2 \cdot 5{,}8}{16} = 3{,}7\ \text{м};$$

– до задней оси

$$b = L - a = 5{,}8 - 3{,}7 = 2{,}1\ \text{м}.$$

Коэффициент распределения тормозных сил

$$\beta_\tau = \frac{b + \varphi_{хр}h_g}{a - \varphi_{хр}h_g} = \frac{2{,}1 + 0{,}6 \cdot 2{,}05}{3{,}7 - 0{,}6 \cdot 2{,}05} = 1{,}35.$$

Показатели эффективности торможения автобуса на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,75:

– установившееся замедление

$$a_{\tau y} = \frac{\varphi_x a\left(1+\beta_\tau\right)g}{L + \varphi_x h_g\left(1+\beta_\tau\right)} = \frac{0{,}75 \cdot 3{,}7\left(1+1{,}35\right) \cdot 9{,}81}{5{,}8 + 0{,}75 \cdot 2{,}05\left(1+1{,}35\right)} = 6{,}8\ \text{м/с}^2;$$

– путь при установившемся торможении

$$S_{\text{у}} = \frac{V_0^2 - V_{\text{к}}^2}{2a_{\tau y}} = \frac{72^2 - 36^2}{3{,}6^2 \cdot 2 \cdot 6{,}8} = 22{,}1 \text{ м.}$$

Ответ: $S_{\text{у}} = 22{,}1$ м.

Пример 5.5. Грузовой автомобиль, оснащённый двухконтурной тормозной системой, движется на горизонтальном участке дороги со скоростью 60 км/ч. Масса автомобиля 22500 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 4900 кг; база 4,35 м; высота центра масс 1,4 м; коэффициент продольного сцепления 0,5; коэффициент сопротивления качению 0,03; время запаздывания тормозного привода 0,2 с; время нарастания замедления 0,4 с. Определить тормозной путь до полной остановки автомобиля при отказе контура тормозов задних колёс.

Дано: $V_{\text{а}0} = 60$ км/ч; $m_{\text{а}} = 22500$ кг; $m_{\text{а}1} = 4900$ кг; $L = 4{,}35$ м; $h_g = 1{,}4$ м; $\varphi_x = 0{,}5$; $f_{\text{с}} = 0{,}03$; $t_{\text{з}} = 0{,}2$ с; $t_{\text{н}} = 0{,}4$ с; $V_{\text{а.к}} = 0$ км/ч.

Определить: $S_{\text{о}}$.

Решение: Расстояния от центра масс автобуса:

– до задней оси

$$b = \frac{G_{\text{а}1}L}{G_{\text{а}}} = \frac{m_{\text{а}1}L}{m_{\text{а}}} = \frac{4900 \cdot 4{,}35}{22500} = 0{,}95 \text{ м;}$$

– до передней оси

$$a = L - b = 4{,}35 - 0{,}95 = 3{,}4 \text{ м.}$$

Показатели эффективности торможения автомобиля при торможении рабочими тормозными механизмами передних колёс:

– замедление

$$a_\tau = \frac{(\varphi_x b + f_{\text{с}} a)g}{L - (\varphi_x - f_{\text{с}})h_g} = \frac{(0{,}5 \cdot 0{,}95 + 0{,}03 \cdot 3{,}4) \cdot 9{,}81}{4{,}35 - (0{,}5 - 0{,}03) \cdot 1{,}4} = 1{,}53 \text{ м/с}^2;$$

– остановочный путь

$$S_{\text{о}} = V_0\left(t_{\text{з}} + \frac{t_{\text{н}}}{2}\right) + \frac{V_0^2}{2a_\tau} = \frac{60}{3{,}6}\left(0{,}2 + \frac{0{,}4}{2}\right) + \frac{60^2}{3{,}6^2 \cdot 2 \cdot 1{,}53} = 97{,}3 \text{ м.}$$

Ответ: $S_{\text{о}} = 97{,}3$ м.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 5.1. Рассчитать продольную реакцию опорной поверхности на колесо с радиальной шиной, работающее в тормозном режиме. Масса автомобиля, приходящаяся на колесо, 600 кг; тормозной момент 670 Н·м; момент инерции колеса 2,74 кг·м^2; статический радиус колеса с радиальной шиной 0,364 м; замедление 3 м/с^2; коэффициент сопротивления качению 0,012. На сколько процентов изменится величина продольной реакции, если: а) тормозной момент увеличится в два раза; б) масса, приходящаяся на колесо, увеличится в 1,4 раза; в) момент инерции колеса уменьшится в два раза.

Задача 5.2. К колесу приложена толкающая сила 8150 Н и подводится тормозной момент 3835 Н·м; статический радиус колеса с радиальной шиной 0,488 м; момент инерции 14,8 кг·м^2; коэффициент сопротивления качению 0,013; масса, приходящаяся на колесо, 3125 кг. Определить замедление, с которым будет тормозиться колесо.

Задача 5.3. Колесо, нагруженное нормальной силой 6,5 кН, при торможении имеет угловое замедление 18 рад/с^2. Определить тормозной момент, если коэффициент продольного сцепления 0,7; коэффициент сопротивления качению 0,02; момент инерции колеса 0,73 кг·м^2; динамический радиус колеса 0,285 м. Какова погрешность определения величины тормозного момента, если не учитывать момент сопротивления качению и инерционный момент колеса.

Задача 5.4. Определить суммарный тормозной момент, создаваемый колёсными тормозными механизмами, при торможении автомобиля с замедлением 3,5 м/с^2 на спуске с углом 4°. Масса автомобиля 1510 кг; динамический радиус колеса 0,29 м; коэффициент сопротивления качению 0,021; коэффициент учёта вращающихся масс 1,045. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача 5.5. При торможении грузового автомобиля на горизонтальной дороге со скорости 65 км/ч замедление составило 5 м/с^2. Учитывая сопротивления качению и воздуха, определить суммарный тормозной момент на колёсах автомобиля. Коэффициент сопротивления качению 0,018; фактор обтекаемости 2,2 Н·с^2/м^2; динамический радиус колёс 0,45 м; масса автомобиля 8300 кг; коэффициент учёта вращающихся масс 1,04.

Задача 5.6. При торможении автомобиля с одновременным выключением сцепления на колёсах автомобиля создаётся тормозная сила 5200 Н. Масса автомобиля 1310 кг; фактор обтекаемости 0,37 Н·с^2/м^2; суммарный момент инерции всех колёс 3,2 кг·м^2; статический радиус колёс с диагональными шинами 0,252 м; коэффициент сопротивления дороги 0,05. Определить замедление автомобиля при скорости 108 км/ч.

Задача 5.7. Определить суммарный тормозной момент в тормозных механизмах автопоезда полной массой 26800 кг при его установившемся движении со скоростью 36 км/ч на спуске с уклоном 7%, если тормозной момент двигателя 190 Н·м. Коэффициент сопротивления качению 0,015; динамический радиус колёс 0,48 м; передаточные числа: коробки передач 1,47, главной передачи 7,22; обратный КПД трансмиссии 0,75; фактор обтекаемости 4,7 Н·с^2/м^2.

Задача 5.8. Грузовой автомобиль при движении на горизонтальной дороге на четвёртой передаче коробки передач тормозит моторным тормозом-замедлителем. Тормозной момент двигателя аппроксимируется зависимостью $T_{т.д}$ = 52,5 + 0,096 n_e Н·м. Масса автомобиля 9800 кг; фактор обтекаемости 3,8 Н·с^2/м^2; обратный КПД трансмиссии 0,78; передаточные числа: четвёртой передачи коробки передач 1,47, главной передачи 6,32; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,476 м. Определить тормозной динамический фактор автомобиля при частотах вращения вала двигателя 3200 об/мин и 1000 об/мин. Найти уклон спуска, на котором автомобиль может двигаться с установившейся скоростью при среднем значении тормозного динамического фактора в указанном диапазоне частот вращения вала двигателя. Коэффициент сопротивления качению 0,013.

Задача 5.9. По условию задачи 5.8 определить среднюю величину замедления автомобиля при торможении моторным тормозом-замедлителем. Момент инерции вращающихся частей двигателя 0,9 кг·м^2; момент инерции всех колёс 75,1 кг·м^2; коэффициент сопротивления качению 0,013. Какой момент необходимо создать рабочей тормозной системой для торможения автомобиля со скорости 40 км/ч с замедлением 3 м/с^2?

Задача 5.10. По условию задачи 5.8 рассчитать время и путь торможения автомобиля при снижении частоты вращения вала двигателя с 3200 об/мин до 1000 об/мин.

Задача 5.11. По условиям задач 5.8 и 5.9 определить, на сколько процентов изменятся время и путь торможения автомобиля без груза. Масса автомобиля в снаряжённом состоянии 4800 кг.

Задача 5.12. Рассчитать время и путь торможения легкового автомобиля со скорости 108 км/ч до скорости 54 км/ч. Масса автомобиля 1450 кг; фактор обтекаемости 0,4 Н·с^2/м^2; коэффициент продольного сцепления 0,7. Торможение происходит с полным использованием сцепления шин с опорной поверхностью; время нарастания замедления 0,15 с.

Задача 5.13. Рассчитать тормозную силу на колёсах при максимальном замедлении автомобиля массой 1120 кг, затормаживаемого с полным использованием сил сцепления на спуске с углом 4°. Во сколько раз изменится величина тормозной силы при торможении на горизонтальной дороге и на подъёме 4°, если автомобиль будет иметь такое же замедление, как

при торможении на спуске с углом 4°. Коэффициент продольного сцепления 0,6.

Задача 5.14. Определить тормозной момент, создаваемый рабочей тормозной системой автобуса, при торможении на спуске с уклоном 7%. Замедление при торможении 6 м/с^2; коэффициент учёта вращающихся масс 1,05; начальная скорость 90 км/ч; фактор обтекаемости 3,8 Н·с^2/м^2; полная масса 13 т; динамический радиус колёс 0,485 м; коэффициент сопротивления качению 0,015. Торможение производится с максимальным использованием сил сцепления колёс с дорогой. На сколько процентов изменится величина тормозного момента при торможении автобуса с указанным замедлением на горизонтальной дороге?

Задача 5.15. Автомобиль тормозит на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,5 и коэффициентом сопротивления качению 0,01 с начальной скорости 54 км/ч. Определить максимальное замедление, время и путь торможения до полной остановки: а) на горизонтальной дороге; б) на спуске с углом 10°. Торможение происходит с полным использованием сил сцепления колёс с опорной поверхностью, время нарастания замедления 0,1 с. Сопротивлением воздуха и инерцией колёс пренебречь.

Задача 5.16. Автомобиль движется со скоростью 54 км/ч по горизонтальной дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,7. При экстренном торможении на этом участке он проходит путь 14,6 м, затем выходит на участок горизонтальной дороги с коэффициентом продольного сцепления 0,5, на котором затормаживается до полной остановки. Найти общий тормозной путь при условии, что на обоих участках сила сцепления колёс автомобиля с дорогой используется полностью и временем нарастания замедления на обеих фазах торможения можно пренебречь ввиду его малости.

Задача 5.17. Автомобиль движется на подъёме по дороге, имеющей коэффициент продольного сцепления 0,8 и коэффициент сопротивления качению 0,015. Определить угол подъёма, если при экстренном торможении до полной остановки тормозной путь на подъёме в два раза меньше тормозного пути на спуске с таким же углом. Покрытие дороги, начальная скорость торможения и коэффициенты учёта вращающихся масс в обоих случаях одинаковы.

Задача 5.18. Автомобиль затормаживается тормозными механизмами всех колёс при движении на спуске с уклоном 7% и коэффициентом продольного сцепления 0,7. На сколько процентов изменится тормозной путь автомобиля при торможении на подъёме с таким же уклоном, если начальные скорости торможения в обоих случаях одинаковы.

Задача 5.19. Легковой автомобиль тормозит на спуске с углом 5° со скорости 72 км/ч. Определить максимальное замедление автомобиля, если торможение происходит с полным использованием сил сцепления колёс с

дорогой. Коэффициент продольного сцепления 0,7; коэффициент сопротивления качению 0,012; фактор обтекаемости 0,53 $Н·с^2/м^2$; полная масса автомобиля 1450 кг; коэффициент учёта вращающихся масс 1,018. На сколько процентов изменится величина замедления, если пренебречь сопротивлением воздуха.

Задача 5.20. Грузовой автомобиль с гидравлическим приводом тормозов затормаживается со скорости 90 км/ч до полной остановки. Определить время остановки и остановочный путь, если максимальное замедление автомобиля 5 $м/с^2$; суммарное время реакции водителя и запаздывания тормозного привода 0,8 с; время нарастания замедления 0,3 с.

Задача 5.21. Водитель автомобиля, движущегося со скоростью 100 км/ч, заметил опасность на расстоянии 100 м и нажал на педаль тормоза. Определить, на каком расстоянии остановится автомобиль от опасного места, если время реакции водителя 0,5 с; время запаздывания тормозного привода 0,1 с; время нарастания замедления 0,2 с; коэффициент продольного сцепления колёс с дорогой 0,7; коэффициент сопротивления их качению 0,014. Торможение всех колёс производится с полным использованием сил сцепления.

Задача 5.22. Тормозной путь автомобиля до полной остановки при начальной скорости торможения 60 км/ч равен 36 м. Определить величину установившегося замедления, если время запаздывания тормозного привода 0,1 с; время нарастания замедления 0,4 с.

Задача 5.23. Автомобиль затормаживается на спуске с углом 5° и коэффициентом продольного сцепления 0,7. Определить величину максимального замедления при торможении с полным использованием сцепления шин с опорной поверхностью. На сколько процентов изменится величина максимального замедления при торможении на горизонтальной дороге?

Задача 5.24. При доведении всех колёс одновременно до полного использования сил сцепления тормозной путь автомобиля на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,7 равен 29 м; время запаздывания тормозного привода 0,07 с; время нарастания замедления 0,5 с. Определить начальную скорость торможения.

Задача 5.25. Масса автомобиля, стоящего на горизонтальной дороге, распределяется по осям в следующем соотношении: на переднюю ось 2000 кг, на заднюю – 2200 кг. При торможении автомобиля на горизонтальном участке дороги создаётся замедление 5 $м/с^2$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить величины тормозных сил на передних и задних колёсах, если известно, что база автомобиля 4 м, а высота центра масс 1,1 м. Использование сил сцепления колёс с поверхностью дороги полное.

Задача 5.26. Определить, на сколько процентов изменятся нормальные реакции дороги на передние и задние колёса автомобиля массой 2000 кг при торможении с замедлением 5,5 м/с^2. Координаты центра масс: высота 1 м, расстояния до передней оси 1,3 м, до задней – 1,2 м. Сопротивления качению и воздуха не учитывать.

Задача 5.27. Определить силы продольного сцепления передних и задних колёс грузового автомобиля массой 6800 кг с дорожной поверхностью при торможении с максимальным замедлением 4,5 м/с^2. Координаты центра масс: высота 1,15 м; расстояния до передней оси 1,8 м, до задней – 1,5 м. Во сколько раз изменятся силы сцепления колёс автомобиля при наличии прицепа массой 2000 кг, не оборудованного тормозами, если высота расположения тягово-сцепного устройства 0,8 м. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 5.28. Легковой автомобиль, центр масс которого находится на высоте от поверхности дороги и на расстоянии от задней оси, составляющих 21 и 50 процентов от базы соответственно, затормаживается всеми колёсами на горизонтальной дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,612. Во сколько раз возрастает нормальная нагрузка на переднюю и уменьшается на заднюю оси по сравнению с нагрузками в статическом положении при одновременном использовании всеми колёсами сил сцепления?

Задача 5.29. На переднюю ось грузового автомобиля с колёсной формулой 6×4, имеющего балансирную подвеску среднего и заднего мостов, приходится 24% полной массы. База автомобиля 3,9 м; высота центра масс 1,4 м. При торможении на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6 тормозные силы на всех колёсах одновременно достигают предела по сцеплению. Определить, в каком отношении распределяются тормозные силы по колёсам каждой из осей при условии, что нормальные реакции, действующие на колёса среднего и заднего мостов, одинаковы.

Задача 5.30. У легкового автомобиля полной массой 1870 кг на заднюю ось приходится 980 кг; база 2,8 м; высота центра масс 0,62 м. Определить коэффициент продольного сцепления, при котором во время торможения тормозные силы на всех колёсах одновременно доводятся до полного использования сил сцепления и когда тормозная сила на передних колёсах составляет 60% полной тормозной силы.

Задача 5.31. При торможении автобуса на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6 тормозные силы на всех колёсах одновременно доводятся до предела по сцеплению. Определить высоту центра масс автобуса, если на этом режиме торможения коэффициент распределения тормозных сил 1,2. База автобуса 3,6 м; расстояние от центра масс до передней оси 2,4 м.

Задача 5.32. При каком замедлении возможна блокировка задних колёс автомобиля, затормаживаемого на мокрой дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,35, если тормозная сила на передних колёсах в 1,4 раза больше, чем на задних. Координаты центра масс автомобиля: высота 0,6 м, расстояние до передней и задней осей 1,25 м. Сопротивлениями качению и воздуха, инерционными моментами вращающихся масс пренебречь.

Задача 5.33. При какой массе прицепа, не оборудованного тормозами, возможна блокировка задних колёс автомобиля полной массой 1900 кг при торможении с замедлением 4 м/с^2, если тормозные силы на передних и задних колёсах автомобиля одинаковы, а коэффициент продольного сцепления шин с дорогой 0,6. Координаты центра масс автомобиля: высота 0,6 м, расстояние до передней и задней осей 1,3 м; высота тягово-сцепного устройства прицепа 0,35 м. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь; коэффициент учёта вращающихся масс равен 1.

Задача 5.34. Рассчитать тормозной путь автомобиля, у которого при торможении на всех колёсах тормозные силы одновременно доводятся до предела по сцеплению. Полная масса автомобиля распределяется по осям поровну; база автомобиля 2,8 м; высота центра масс 0,7 м; соотношение тормозных сил на передних и задних колёсах 1,4. Торможение происходит с начальной скорости 90 км/ч до полной остановки; время запаздывания тормозного привода 0,1 с; время нарастания замедления 0,2 с.

Задача 5.35. Распределение тормозных моментов на передних и задних колёсах легкового автомобиля подобрано таким образом, что одновременное достижение предела по сцеплению всеми колёсами происходит при коэффициенте продольного сцепления 0,8. Определить, какие колёса первыми достигают блокировки на дороге с коэффициентом сцепления 0,4, какое замедление будет иметь автомобиль и какой путь он пройдёт при торможении со скорости 80 км/ч до полной остановки, если после блокировки этих колёс усилие на тормозной педали останется неизменным. Данные по автомобилю: полная масса 970 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 510 кг; база 2,48 м; высота центра масс 0,51 м.

Задача 5.36. Масса автобуса без пассажиров 9200 кг, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 4980 кг; полная масса автобуса с пассажирами 14400 кг, в том числе на заднюю ось – 8880 кг; база 5,4 м; высота центра масс автобуса без пассажиров 1,2 м, с пассажирами – 1,75 м. Тормозные механизмы обеспечивают одновременное доведение до предела по сцеплению всех колёс автобуса с пассажирами на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6. Определить тормозной путь, который пройдёт автобус без пассажиров при торможении со скорости 40 км/ч до скорости 20 км/ч на дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6,

если задние колёса доведены до блокировки, и усилие на тормозной педали остаётся неизменным.

Задача 5.37. Грузовой автомобиль имеет следующие конструктивные параметры: на переднюю ось приходится 32% полной массы; база автомобиля 4,6 м; высота центра масс 1,4 м; распределение тормозных сил по осям 0,8:1. При экстренном торможении со скорости 40 км/ч до полной остановки с доведением передних колёс до блокировки его тормозной путь составил 25 м. Рассчитать, на сколько процентов изменится тормозной путь автомобиля, если при перевозке груза меньшей плотности высота центра масс увеличится на 0,6 м, а все остальные параметры автомобиля и состояние дороги останутся неизменными. При расчётах принять путь, пройденный за время запаздывания тормозного привода и нарастания замедления, равным 2 м.

Задача 5.38. На сколько процентов снизится суммарная максимальная тормозная сила на колёсах легкового автомобиля при выходе из строя контура привода тормозов задних колёс? Полная масса автомобиля 1480 кг; база 2,58 м; высота центра масс 0,62 м; на передние колёса приходится 52% полной массы; коэффициент продольного сцепления, при котором обеспечивается полное использование сцепных свойств колёс, равен 0,8. Сопротивления качению и воздуха не учитывать.

Задача 5.39. Определить максимальное замедление легкового автомобиля при исправном приводе тормозных механизмов только задних колёс. Полная масса автомобиля 1280 кг; высота центра масс 0,6 м; база 2,58 м; на передние колёса приходится 52% полной массы; коэффициент продольного сцепления 0,7; коэффициент сопротивления качению 0,015. Сопротивление воздуха не учитывать.

Задача 5.40. На сколько процентов снизится суммарная максимальная тормозная сила колёс грузового автомобиля при обрыве магистрали привода тормозных механизмов передних колёс? Масса автомобиля 7400 кг; база 3,7 м; расстояние от центра масс до оси передних колёс 2,79 м; высота центра масс 1,15 м; коэффициент продольного сцепления 0,7. Полностью работоспособной тормозной системой на этой дороге обеспечивается максимальное замедление 5,75 м/с^2. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 5.41. Определить максимальное замедление грузового автомобиля при обрыве магистрали привода тормозных механизмов задних колёс. Масса автомобиля 3500 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 1460 кг; база 3,8 м; высота центра масс 1,05 м; коэффициент продольного сцепления 0,7; коэффициент сопротивления качению 0,02. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача 5.42. На сколько метров увеличится остановочный путь легкового автомобиля при обрыве магистрали привода тормозных механиз-

мов задних колёс? Масса автомобиля 1340 кг, в том числе на переднюю ось 640 кг; база 2,42 м; высота центра масс 0,58 м; коэффициент продольного сцепления 0,75. Использование сил сцепления колёс с дорогой полное. Время срабатывания привода при обрыве магистрали не изменится. Начальная скорость торможения 90 км/ч. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 5.43. На сколько метров увеличится остановочный путь грузового автомобиля при обрыве магистрали привода тормозных механизмов передних колёс? Масса автомобиля 10500 кг, в том числе на переднюю ось приходится 2620 кг; база 3,8 м; высота центра масс 1,34 м; коэффициент продольного сцепления 0,65. Использование сил сцепления колёс с дорогой полное. Начальная скорость торможения 50 км/ч. Время срабатывания тормозного привода при его обрыве не изменяется. Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 5.44. Легковой автомобиль с двухконтурной тормозной системой движется со скоростью 80 км/ч на спуске с уклоном 5%. Массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, одинаковы; база 2,9 м; высота центра масс 0,7 м; коэффициент продольного сцепления 0,5; коэффициент сопротивления качению 0,022. Определить тормозной путь автомобиля до полной остановки при отказе контура передних тормозов, если время запаздывания тормозного привода 0,1 с; время нарастания замедления 0,2 с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача 5.45. Автобус с двухконтурной тормозной системой тормозит на спуске с уклоном 5% при коэффициенте продольного сцепления 0,8. Определить, при работе какого из контуров тормозной системы – переднего или заднего – замедление будет больше и на сколько процентов. База автобуса 4,8 м; высота центра масс 1,5 м; полная масса 9000 кг, в том числе на заднюю ось приходится 6000 кг. Силами сопротивления качению и воздуха пренебречь.

Задача 5.46. Легковой автомобиль с двухконтурной тормозной системой тормозит на горизонтальном участке дороги с коэффициентом продольного сцепления 0,6. При полной загрузке пассажирского салона распределение массы по осям 50:50; у автомобиля без пассажиров на переднюю ось приходится 58% массы. База автомобиля 2,7 м; высоты центра масс автомобиля с пассажирами 0,7 м, без пассажиров 0,6 м. Определить отношение величин замедлений при работе контуров передних и задних колёс в отдельности для автомобиля: а) с пассажирами; б) без пассажиров.

Задача 5.47. Определить тормозной момент на колёсах грузового автомобиля массой 9500 кг, необходимый для его удержания на уклоне 25% стояночной тормозной системой. На колёса автомобиля установлены ши-

ны 240–508Р; коэффициент нормальной деформации шин 0,85; высота профиля шины равна 0,82 её ширины.

Задача 5.48. Рассчитать тормозную силу, необходимую для удержания грузового автомобиля массой 10400 кг на дороге с уклоном 18% стояночной тормозной системой. На каком уклоне можно затормозить автопоезд, состоящий из указанного автомобиля и прицепа массой 8000 кг, если на задних колёсах тягача будет та же величина тормозной силы.

Задача 5.49. Определить максимальный угол уклона дороги, на котором может быть заторможен автопоезд стояночной тормозной системой. Масса тягача 19000 кг, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 13000 кг; база тягача 4,65 м; высота центра масс 1,45 м; масса прицепа 12000 кг; высота тягово-сцепного устройства 0,88 м; коэффициент продольного сцепления 0,7. Расчёт произвести для автопоезда, стоящего на подъёме и на спуске.

Задача 5.50. Автопоезд, состоящий из тягача массой 7850 кг и прицепа массой 3500 кг, движется со скоростью 60 км/ч по дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,6 и коэффициентом сопротивления качению 0,016. Определить тормозной путь при торможении до полной остановки автопоезда только колёс тягача. На сколько процентов изменится тормозной путь автопоезда при одновременном торможении колёс тягача и прицепа?

6. КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ, УПРАВЛЯЕМОСТЬ И МАНЁВРЕННОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Условия осуществления поворота

Поворачивающие моменты, действующие на автомобиль (Н·м):
– с передними ведомыми и управляемыми колёсами

$$T_{\text{п}} = R_{y1} L \cos\theta; \tag{6.1}$$

– с передними ведущими и управляемыми колёсами

$$T_{\text{п}} = F_{\text{т}} L \sin\theta. \tag{6.2}$$

Моменты сопротивления повороту автомобиля (Н·м):
– с передними ведомыми и управляемыми колёсами

$$T_{\text{с}} = R_{x1} L \sin\theta + \frac{(R_{x2\text{в}} - R_{x2\text{н}})B_2}{2} \text{ при } R_{x2\text{в}} > R_{x2\text{н}}; \tag{6.3}$$

$$T_{\text{с}} = R_{x1} L \sin\theta \text{ при } R_{x2\text{в}} = R_{x2\text{н}}; \tag{6.4}$$

– с передними ведущими управляемыми колёсами

$$T_{\text{с}} = fG_{\text{а}1} L \sin\theta + \frac{\Delta f_2 G_{\text{а}2} B_2}{4} \text{ при } R_{x2\text{в}} > R_{x2\text{н}}; \tag{6.5}$$

$$T_{\text{с}} = R_{x1} L \sin\theta \text{ при } R_{x2\text{в}} = R_{x2\text{н}}. \tag{6.6}$$

Условия поворота автомобиля:
– с передними ведомыми и управляемыми колёсами

$$\varphi > \sqrt{f^2 + \left[f \operatorname{tg}\theta + \frac{(R_{x2\text{в}} - R_{x2\text{н}})B_2}{2G_{\text{а}1} L \cos\theta} \right]^2} \text{ при } R_{x2\text{в}} > R_{x2\text{н}}; \tag{6.7}$$

$$\varphi > \frac{f}{\cos\theta} \text{ при } R_{x2\text{в}} = R_{x2\text{н}}; \tag{6.8}$$

– с передними ведущими и управляемыми колёсами

$$\varphi > \sqrt{f^2 + \left[f^2 \mathrm{tg}\theta + \frac{\Delta f_2 G_{a2} B_2}{4 G_{a1} L \cos\theta} \right]^2} \text{ при } R_{x2в} > R_{x2н}; \quad (6.9)$$

$$\varphi > f \text{ при } R_{x2в} = R_{x2н}, \quad (6.10)$$

где R_{x1} и R_{y1} – суммарные продольные и поперечные реакции, действующие на передние колёса соответственно, Н; $R_{x2в}$ и $R_{x2н}$ – продольные реакции, действующие на внутреннее и наружное задние колёса соответственно, Н; $F_т$ – тяговая сила, действующая на передние колёса, Н; G_{a1} и G_{a2} – веса, приходящиеся на передние и задние колёса, соответственно, Н; L – база автомобиля, м; B_2 – колея задних колёс м; θ – средний угол поворота управляемых колёс, рад или град; φ – коэффициент сцепления колёс с опорной поверхностью; f – коэффициент сопротивления качению колёс; Δf_2 – разница в коэффициентах сопротивления качению задних колёс.

2. Боковой увод колеса с пневматической шиной

Углы увода колеса (рад):

– силового

$$\delta_F = \frac{F_y}{k_y}; \quad (6.11)$$

– кинематического

$$\delta_\gamma = \frac{\gamma}{k_\gamma}; \quad (6.12)$$

– суммарный

$$\delta = \delta_F \pm \delta_\gamma = \frac{F_y}{k_y} \pm \frac{\gamma}{k_\gamma}, \quad (6.13)$$

где F_y – боковая сила, действующая на колесо, Н; k_y – коэффициент сопротивления уводу от действия боковой силы, Н/рад; γ – угол наклона колеса к поверхности дороги в поперечной вертикальной плоскости, рад; k_γ – коэффициент сопротивления уводу от наклона колеса.

Приближённая формула для расчёта коэффициента сопротивления уводу (Н/рад)

$$k_{y0} = \text{А} \cdot 10^{-6} B_{\text{ш}} \left(d + 2B_{\text{ш}}\right)\left(p_{\text{в}} + 0{,}1\right), \tag{6.14}$$

где А – коэффициент, учитывающий конструкцию шины; А = 0,5 для диагональной шины; А = 0,76 для радиальной шины; $B_{\text{ш}}$ и d – ширина профиля и посадочный диаметр обода шины соответственно, м; $p_{\text{в}}$ – давление воздуха в шине, МПа.

Коэффициент сопротивления уводу (Н/рад) с учётом условий работы колеса

$$k_y = k_{y0} q_z q_{\text{т}} q_{\varphi}, \tag{6.15}$$

где k_{y0} – коэффициент сопротивления уводу ведомого колеса при оптимальных значениях нормальной нагрузки и давления воздуха в шине и линейной зависимости угла увода от боковой силы; q_z, $q_{\text{т}}$, q_{φ} – коэффициенты коррекции;

q_z – коэффициент коррекции, учитывающий отклонение нормальной нагрузки от оптимальной,

$$q_z = 2{,}4a_z - 1{,}8a_z^2 + 0{,}4a_z^3, \tag{6.16}$$

где $a_z = F_z / F_{z\,\text{опт}}$ ($F_{z\,\text{опт}}$ и F_z – оптимальная и отличающаяся от оптимальной нормальные нагрузки на колесо соответственно, Н);

$q_{\text{т}}$ – коэффициент коррекции, учитывающий влияние продольной реакции, действующей на колесо:

$$q_{\text{т}} = \frac{\sqrt{1 - \left(\dfrac{R_x}{\varphi R_z}\right)^2}}{1 + 0{,}375\left(\dfrac{R_x}{R_z}\right)}; \tag{6.17}$$

q_{φ} – коэффициент, учитывающий нелинейную зависимость угла увода от боковой силы:

$$q_{\varphi} = \frac{\operatorname{arctg}\left[\dfrac{\pi k_{y0}\left(\delta - \delta_0\right)}{2\varphi R_z}\right]}{\dfrac{\pi k_{y0}\left(\delta - \delta_0\right)}{2\varphi R_z}}, \tag{6.18}$$

где R_x и R_z – продольная и нормальная реакции, действующие на колесо соответственно, Н; φ – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью; δ_0 – максимальная величина угла увода на линейном участке зависимости $F_y = f(\delta)$; δ_0 = 0,025…0,035 рад (1,4…2°).

3. Кинематика поворота автомобиля

Соотношение между углами поворота управляемых колёс:

– при отсутствии увода колёс

$$\mathrm{ctg}\theta_{\text{н}} - \mathrm{ctg}\theta_{\text{в}} = \frac{B_{\text{шк}}}{L}; \tag{6.19}$$

– при уводе передних и задних колёс

$$\mathrm{ctg}\theta_{\text{н}} - \mathrm{ctg}\theta_{\text{в}} = \frac{B_{\text{шк}}\left[L - \dfrac{m_{\text{a}2}V^2}{k_{y2}}\right]}{\left[L - \left(\dfrac{m_{\text{a}2}}{k_{y2}} - \dfrac{m_{\text{a}1}}{k_{y1}}\right)V^2\right]^2}, \tag{6.20}$$

где $\theta_{\text{н}}$ и $\theta_{\text{в}}$ – углы поворота наружного и внутреннего управляемых колёс соответственно, рад; $B_{\text{шк}}$ – расстояние между осями шкворней поворотных цапф, м; L – база автомобиля, м; $m_{\text{a}1}$ и $m_{\text{a}2}$ – массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, соответственно, кг; k_{y1} и k_{y2} – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей соответственно, Н/рад; V – скорость автомобиля, м/с.

Радиусы поворота автомобиля (м):

– при отсутствии увода колёс

$$R = \frac{L}{\mathrm{tg}\theta} \approx \frac{L}{\theta}; \tag{6.21}$$

– при уводе передних и задних колёс

$$R_\delta = \frac{L}{\mathrm{tg}(\theta - \delta_1) + \mathrm{tg}\delta_2} \approx \frac{L}{\theta + \delta_2 - \delta_1}; \tag{6.22}$$

расстояния от центра поворота до задней оси (м):

– при отсутствии увода колёс $C = 0$;

– при уводе передних и задних колёс

$$C = \frac{L\mathrm{tg}\delta_2}{\mathrm{tg}(\theta - \delta_1) + \mathrm{tg}\delta_2} \approx \frac{L\delta_2}{\theta + \delta_2 - \delta_1}; \qquad (6.23)$$

угловые скорости автомобиля (рад/с):

– при отсутствии увода колёс

$$\omega_а = \frac{V}{R} = \frac{V\mathrm{tg}\theta}{L} \approx \frac{V\theta}{L}; \qquad (6.24)$$

– при уводе передних и задних колёс

$$\omega_а = \frac{V}{R_\delta} = \frac{V[\mathrm{tg}(\theta - \delta_1) + \mathrm{tg}\delta_2]}{L} \approx \frac{V(\theta + \delta_2 - \delta_1)}{L}, \qquad (6.25)$$

где θ – средний угол поворота управляемых колёс, рад; δ_1 и δ_2 – углы увода передней и задней осей соответственно, рад; L – база автомобиля, м; V – скорость автомобиля, м/с.

4. Силы и моменты, действующие на автомобиль при повороте

Силы инерции (Н):

– продольная составляющая

$$F_{ax} = \delta m_а \left[\frac{V^2\left(\frac{b}{R_\delta} - \delta_2\right)}{R_\delta} - \dot{V} \right] = \qquad (6.26)$$

$$= \delta m_а \left\{ V^2[b(\theta - \delta_1) - a\delta_2] \frac{(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{L^2} - \dot{V} \right\};$$

– поперечная составляющая

$$F_{ay} = -m_а \left\{ \frac{V^2}{R_\delta} + \frac{V[b(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1) - a\dot{\delta}_2]}{L} + \dot{V}\left(\frac{b}{R_\delta} - \delta_2\right) \right\} =$$

$$= -m_а \left\{ \frac{V^2(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{L} + \frac{V[b(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1) - a\dot{\delta}_2]}{L} + \frac{\dot{V}[b(\theta - \delta_1) - a\delta_2]}{L} \right\}; \qquad (6.27)$$

инерционный момент относительно вертикальной оси (Н·м)

$$T_{az} = -m_{\text{а}}\rho_z^2 \frac{\dot{V}(\theta - \delta_1 + \delta_2) + V(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2)}{L}; \qquad (6.28)$$

боковые (поперечные) реакции на передние и задние колёса (Н)

$$R_{y1} = \frac{F_{ay}b + T_{az} + T_{\text{с}2}}{L\cos\theta} + R_{x1}\text{tg}\theta; \qquad (6.29)$$

$$R_{y2} = \frac{F_{ay}a - T_{az} - T_{\text{с}2}}{L}; \qquad (6.30)$$

при $\theta \le 10°$ $\cos\theta \approx 1$; $R_{x1}\text{tg}\theta \approx 0$; при $R_{x2\text{в}} \approx R_{x2\text{н}}$ $T_{\text{с}2} \approx 0$

$$R_{y1} = \frac{F_{ay}b + T_{az}}{L} = m_{\text{а}1}\left\{\frac{V^2(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{L} + \right.$$
$$\left. + \frac{\left[V(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1) + \dot{V}(\theta - \delta_1)\right](\rho_z^2 + b^2) + (V\dot{\delta}_2 + \dot{V}\delta_2)(\rho_z^2 - ab)}{bL}\right\}; \qquad (6.31)$$

$$R_{y2} = \frac{F_{ay}a - T_{az}}{L} = m_{\text{а}2}\left\{\frac{V^2(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{L} - \right.$$
$$\left. - \frac{\left[V(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1) + \dot{V}(\theta - \delta_1)\right](\rho_z^2 - ab) - (V\dot{\delta}_2 + \dot{V}\delta_2)(\rho_z^2 + a^2)}{aL}\right\}, \qquad (6.32)$$

где δ – коэффициент учёта вращающихся масс; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; V – скорость автомобиля, м/с; $\dot{V}$ – ускорение или замедление автомобиля, м/с^2; a и b – расстояния от центра масс до передней и задней осей соответственно, м; θ – средний угол поворота управляемых колёс, рад; δ_1 и δ_2 – углы увода передней и задней осей соответственно, рад; L – база автомобиля, м; $\dot{\theta}$ – скорость изменения угла поворота управляемых колёс, рад/с; $\dot{\delta}_1$ и $\dot{\delta}_2$ – скорости изменения углов увода передней и задней осей соответственно, рад/с; ρ_z – радиус инерции автомобиля относительно вертикальной оси, м; $T_{\text{с}2}$ – момент сопротивления повороту автомобиля при $R_{x2\text{в}} \ne R_{x2\text{н}}$, Н·м; R_{x1} – продольные реакции на передние колёса автомобиля, Н; $m_{\text{а}1}$ и $m_{\text{а}2}$ – массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, соответственно, кг.

5. Поворачиваемость автомобиля

Коэффициент статической поворачиваемости автомобиля (с^2/м)

$$k_{\text{пв}} = \frac{m_{\text{а}2}}{k_{y2}} - \frac{m_{\text{а}1}}{k_{y1}}; \tag{6.33}$$

кинематические параметры статической поворачиваемости автомобиля при круговом движении:

– радиус поворота (м)

$$R_{\delta} = \frac{L - k_{\text{пв}} V^2}{\theta}; \tag{6.34}$$

– угловая скорость поворота (рад/с)

$$\omega_{\text{а}} = \frac{V\theta}{L - k_{\text{пв}} V^2}; \tag{6.35}$$

– статическая чувствительность автомобиля к управлению (с$^{-1}$):

$$W_y = \frac{\omega_{\text{а}}}{\theta} = \frac{V}{L - k_{\text{пв}} V^2}; \tag{6.36}$$

– показатель статической поворачиваемости (рад)

$$\Pi = \delta_2 - \delta_1; \tag{6.37}$$

– признаки определения типа поворачиваемости автомобиля:

- нейтральная $\delta_1 = \delta_2$; $k_{\text{пв}} = 0$; $W_y = \frac{V}{L}$;
- недостаточная $\delta_1 > \delta_2$; $k_{\text{пв}} < 0$; $W_y < \frac{V}{L}$;
- избыточная $\delta_2 > \delta_1$; $k_{\text{пв}} > 0$; $W_y > \frac{V}{L}$,

где $m_{\text{а}1}$ и $m_{\text{а}2}$ – массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно, кг; k_{y1} и k_{y2} – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей соответственно, Н/рад; L – база автомобиля, м; θ – средний угол поворота управляемых колёс, рад; V – скорость автомобиля, м/с; δ_1 и δ_2 – углы увода передней и задней осей соответственно, рад.

6. Крен подрессоренной массы автомобиля

Моменты, действующие на подрессоренную массу (Н·м):

– момент крена

$$T_{\text{кр}} = F_y^{\text{п}} h_\lambda ; \tag{6.38}$$

– восстанавливающий момент

$$T_{\text{в}} = c_\lambda \lambda. \tag{6.39}$$

Плечо крена (м)

$$h_\lambda \approx h_{\text{п}} - \frac{a_{\text{п}} h_2 \pm b_{\text{п}} h_1}{L}. \tag{6.40}$$

Угловая жёсткость подвески (Н·м/рад):

– зависимой

$$c'_\lambda = 0{,}5 \eta_{\text{р}} B_{\text{р}}^2 c_{\text{р}} ; \tag{6.41}$$

– независимой

$$c''_\lambda = 0{,}5 B^2 c_{\text{пр}} ; \tag{6.42}$$

– суммарная зависимой

$$c'_{\lambda\text{с}} = c'_\lambda + c_{\text{ст}} + c_{\text{р.э}} ; \tag{6.43}$$

– суммарная независимой

$$c''_{\lambda\text{с}} = c''_\lambda + c_{\text{ст}} + c_{\text{р.э}} ; \tag{6.44}$$

– суммарная автомобиля

$$c_\lambda = c_{\lambda 1} + c_{\lambda 2} . \tag{6.45}$$

Угол крена подрессоренной массы (рад):

– при прямолинейном движении на косогоре

$$\lambda = \frac{G_{\text{п}} h_\lambda \sin \beta}{c_\lambda - G_{\text{п}} h_\lambda \cos \beta} ; \tag{6.46}$$

– при круговом движении на горизонтальной дороге

$$\lambda = \frac{F_{ay}^{\text{п}} h_\lambda}{c_\lambda - G_{\text{п}} h_\lambda} , \tag{6.47}$$

где $F_{ay}^{\text{п}}$ – боковая сила, действующая на подрессоренную массу, Н; $a_{\text{п}}$, $b_{\text{п}}$, $h_{\text{п}}$ – расстояния от центра подрессоренной массы до передней, задней осей и опорной поверхности соответственно, м; h_1 и h_2 – расстояния от переднего и заднего центров крена до опорной поверхности соответственно, м; $\eta_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение нормальной жёсткости рессор при скручивании в поперечном направлении; $\eta_{\text{р}}$ = 1,05…1,25; $B_{\text{р}}$ – рессорная колея, м; $c_{\text{р}}$ – нормальная жёсткость рессор, Н/м; B – колея автомобиля, м; $c_{\text{пр}}$ – нормальная жёсткость упругого элемента подвески, приведённая к колесу, Н/м; $c_{\text{ст}}$ – угловая жёсткость стабилизатора поперечной устойчивости, Н·м/рад; $c_{\text{р.э}}$ – угловая жёсткость резиновых элементов подвески, Н·м/рад; $G_{\text{п}}$ – вес подрессоренных частей автомобиля, Н; β – угол косогора, рад.

7. Нормальные реакции опорной поверхности при криволинейном движении автомобиля (Н):

– на внутреннее и наружное передние колёса

$$R_{z1\text{в}} = 0{,}5m_{\text{а}1}g - \frac{\left(m_{\text{п}1}h_1 + m_{\text{н}1}r_{\text{д}}\right)a_y + T_{\text{р}1}}{B_1}; \tag{6.48}$$

$$R_{z1\text{н}} = 0{,}5m_{\text{а}1}g + \frac{\left(m_{\text{п}1}h_1 + m_{\text{н}1}r_{\text{д}}\right)a_y + T_{\text{р}1}}{B_1}; \tag{6.49}$$

– на внутреннее и наружное задние колёса

$$R_{z2\text{в}} = 0{,}5m_{\text{а}2}g - \frac{\left(m_{\text{п}2}h_2 + m_{\text{н}2}r_{\text{д}}\right)a_y + T_{\text{р}2}}{B_2}; \tag{6.50}$$

$$R_{z2\text{н}} = 0{,}5m_{\text{а}2}g + \frac{\left(m_{\text{п}2}h_2 + m_{\text{н}2}r_{\text{д}}\right)a_y + T_{\text{р}2}}{B_2}; \tag{6.51}$$

реактивные (восстанавливающие) моменты (Н·м):

– передней подвески

$$T_{\text{р}1} = \frac{T_{\text{р}}c_{\lambda 1}}{c_{\lambda}}; \tag{6.52}$$

– задней подвески

$$T_{р2} = \frac{T_р c_{\lambda 2}}{c_\lambda}, \qquad (6.53)$$

где $m_{а1}$ и $m_{а2}$ – части полной массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно, кг; $m_{п1}$ и $m_{п2}$ – подрессоренные массы передней и задней подвесок соответственно, кг; $m_{н1}$ и $m_{н2}$ – неподрессоренные массы передней и задней подвесок соответственно, кг; h_1 и h_2 – расстояния от переднего и заднего центров крена до опорной поверхности, м; $r_д$ – динамический радиус колёс, м; a_y – боковое (поперечное) ускорение, м/с^2; B_1 и B_2 – колеи передних и задних колёс соответственно, м; $T_р$ – суммарный реактивный момент передней и задней подвесок, Н·м; $c_{\lambda 1}$ и $c_{\lambda 2}$ – угловые жёсткости передней и задней подвесок соответственно, Н·м/рад; c_λ – суммарная угловая жёсткость подвесок, Н·м/рад.

8. Кривизна траектории при криволинейном движении с постоянной скоростью (1/м)

$$K = \frac{\theta_р}{u_{р.у} L}\left[1 + \frac{m_а V^2 \left(a k_{y1} - b k_{y2}\right)}{L^2 k_{y1} k_{y2}}\right], \qquad (6.54)$$

где $\theta_р$ – угол поворота рулевого колеса, рад; $u_{р.у}$ – передаточное число рулевого управления; L – база автомобиля, м; $m_а$ – масса автомобиля, кг; V – скорость автомобиля, м/с; a и b – расстояния от центра масс до передней и задней осей соответственно, м; k_{y1} и k_{y1} – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей соответственно, Н/рад.

9. Колебания управляемых колёс относительно шкворней

Колебания, вызываемые неуравновешенностью управляемых колёс:

– статический момент дисбаланса (Н·м)

$$T_{дб} = m_н g r_m; \qquad (6.55)$$

– поворачивающий момент (Н·м)

$$T_п = \frac{T_{дб} V^2 l_ц}{g r_к^2} \sin(\omega_к t), \qquad (6.56)$$

где $m_н$ – неуравновешенная масса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; r_m – эксцентриситет, м; V – скорость автомобиля, м/с; $l_ц$ – длина по-

воротной цапфы, м; $r_к$ – радиус качения колеса, м; $\omega_к$ – угловая скорость колеса, рад/с; t – время, с.

Колебания, вызываемые неровностями дороги:

– поворачивающий момент (Н·м)

$$T_п = R_z l_ц \operatorname{tg}\alpha, \tag{6.57}$$

где R_z – реакция на колесо со стороны неровности, Н; $l_ц$ – длина поворотной цапфы, м; α – угол, образованный поверхностью неровности с горизонталью, рад.

Автоколебания управляемых колёс

Парциальные частоты (рад/с):

– поперечной вертикальной системы

$$\omega_\gamma = \sqrt{\frac{c_р B_р^2 + c_ш B^2}{2J_\gamma}}; \tag{6.58}$$

– горизонтальной системы

$$\omega_о = \sqrt{\frac{c_\theta}{2J_о}}, \tag{6.59}$$

где $c_р$ и $c_ш$ – нормальные жёсткости рессор и шин соответственно, Н/м; $B_р$ и B – рессорная колея и колея моста соответственно, м; J_γ – момент инерции управляемого моста вместе с колёсами относительно продольной оси, проходящей через его центр масс, кг·м^2; c_θ – угловая жёсткость рулевого привода и колёс, Н·м/рад; $J_о$ – момент инерции управляемого колеса с поворотной цапфой и деталями тормозного механизма относительно шкворня, кг·м^2.

Гироскопические моменты (Н·м):

– момент, поворачивающий колёса относительно шкворней,

$$T_{г\gamma} = 2J_к\omega_к\omega_\gamma; \tag{6.60}$$

– момент, поворачивающий оси колёс вместе с осью моста относительно продольной оси,

$$T_{г\theta} = 2J_к\omega_к\omega_о, \tag{6.61}$$

где $J_к$ – момент инерции колеса относительно оси его вращения, кг·м^2; $\omega_к$ – угловая скорость вращения колеса, рад/с.

10. Стабилизация управляемых колёс

Стабилизирующие моменты (Н·м):

– за счёт увода управляемых колёс

$$T_{\text{ст}}^{\delta} = R_{y1}e \pm R_{x1}\Delta = k_y \delta e \pm R_{x1}\Delta; \qquad (6.62)$$

– за счёт продольного наклона шкворня при движении по круговой траектории с постоянной скоростью

$$T_{\text{ст}}^{\beta} = R_{y1} r_{\text{д}} \sin\beta = \frac{m_{\text{а}} b V^2 r_{\text{д}} \sin\beta}{LR\cos\theta}; \qquad (6.63)$$

– за счёт смещения шкворня вперёд без наклона

$$T_{\text{ст}}^{\alpha} = R_{y1} a_{\text{с}} = \frac{m_{\text{а}} b V^2 a_{\text{с}}}{LR\cos\theta}; \qquad (6.64)$$

– за счёт продольного наклона шкворня и увода управляемых колёс

$$T_{\text{ст}}^{\beta} + T_{\text{ст}y}^{\delta} = R_{y1}\left(r_{\text{д}}\beta + e\right) = \frac{m_{\text{а}} b V^2 \left(r_{\text{д}}\beta + e\right)}{LR\cos\theta}; \qquad (6.65)$$

– за счёт поперечного наклона шкворня

$$T_{\text{ст}}^{\alpha} = G_{\text{а}1} c_1 \sin\theta \cos\alpha \sin\alpha, \qquad (6.66)$$

где R_{y1} – суммарная боковая реакция, действующая на передние управляемые колёса, Н; e – смещение точки приложения боковой реакции от центра пятна контакта колеса с опорной поверхностью, м; R_{x1} – суммарная продольная реакция, действующая на передние управляемые колёса, Н; Δ – смещение вектора продольной реакции относительно центра колеса, м; k_{y1} – коэффициент сопротивления уводу передней оси, Н/рад; δ – угол увода передней оси, рад; $r_{\text{д}}$ – динамический радиус передних колёс, м; β – угол продольного наклона шкворня, рад; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; V – скорость автомобиля, м/с; L – база автомобиля, м; R – радиус поворота, м; θ – средний угол поворота передних управляемых колёс, рад; $a_{\text{с}}$ – смещение шкворня вперёд, м; $G_{\text{а}1}$ – вес автомобиля, приходящийся на управляемые колёса, Н; c – плечо обкатки колеса, м; α – угол поперечного наклона шкворня, рад.

11. Манёвренность автомобиля

Геометрические измерители манёвренности:

– минимальный радиус поворота (м)

$$R_{\min} = \frac{L}{\sin\theta_{нmax}} + l_ц; \qquad (6.67)$$

– минимальный радиус поворота по следу заднего внутреннего колеса (м)

$$R_{\min\ вн} = \frac{L}{\mathrm{tg}\theta_{вmax}} - l_ц; \qquad (6.68)$$

– внешний габаритный радиус поворота автомобиля (м)

$$R_{габmax} = R_{\min} + \Delta_1; \qquad (6.69)$$

– внутренний габаритный радиус поворота автомобиля (м)

$$R_{габmin} = R_{minвн} - \Delta_2; \qquad (6.70)$$

– поворотная ширина автомобиля по следам колёс (м) при $\theta_н = \theta_в$

$$B_п = B + \frac{L(1 - \cos\theta_н)}{\sin\theta_н}; \qquad (6.71)$$

– габаритная полоса движения (м)

$$B_{габ} = R_{габmax} - R_{габmin} = B_п + \Delta_1 + \Delta_2, \qquad (6.72)$$

где L – база автомобиля, м; $l_ц$ – длина поворотной цапфы, м; $\theta_{нmax}$ и $\theta_{вmax}$ – максимальные углы поворота наружного и внутреннего управляемых колёс соответственно, рад; Δ_1 и Δ_2 – расстояния наиболее удалённой и близкой точек автомобиля от осей следов переднего наружного и заднего внутреннего колёс соответственно, м.

Силовые измерители манёвренности:

– усилие на рулевом колесе (Н)

$$F_р = \frac{T_\Sigma}{R_р u_{р.у} \eta_{р.у}}; \qquad (6.73)$$

– удельная тяговая сила при повороте

$$f_п = \frac{F_т}{G_а}; \qquad (6.74)$$

– коэффициент использования сцепной силы колёс при повороте для i-й оси

$$k_{\varphi i} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{\varphi R_{zi}}, \qquad (6.75)$$

где T_Σ – суммарный момент на цапфах управляемых колёс, Н·м; $R_р$ – радиус рулевого колеса, м; $u_{р.у}$ – силовое передаточное число рулевого управления; $\eta_{р.у}$ – КПД рулевого управления; $F_т$ – тяговая сила на ведущих колёсах при повороте с минимальным радиусом R_{min} и минимальной устойчивой скоростью $V_{amin} \approx 5$ км/ч, Н; $G_а$ – сила тяжести автомобиля, Н; R_{xi}, R_{yi}, R_{zi} – продольная, боковая и нормальная реакции, действующие на колёса i-й оси, Н; φ – коэффициент сцепления колёс с дорогой.

Примеры решения типовых задач

Пример 6.1. Двухосный автомобиль с передними ведомыми и задними ведущими колёсами совершает поворот по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,15 и коэффициентом сцепления 0,3. База автомобиля 4,6 м. В ведущем мосту установлен простой конический дифференциал. Определить возможность поворота автомобиля с радиусом 5,4 м.

Дано: $f = 0{,}15$; $\varphi = 0{,}3$; $L = 4{,}6$ м; $R_{x2в} = R_{x2н}$; $R = 5{,}4$ м.

Определить: возможность поворота.

Решение: Условие возможности поворота при $R_{x2в} = R_{x2н}$ $\varphi > \dfrac{f}{\cos\theta}$.

Средний угол поворота управляемых колёс

$$\theta = \mathrm{arctg}\left(\frac{L}{R}\right) = \mathrm{arctg}\left(\frac{4{,}6}{5{,}4}\right) = \mathrm{arctg}0{,}8519 = 40°26';$$

$\varphi = 0{,}3$; $\dfrac{f}{\cos\theta} = \dfrac{0{,}15}{\cos 40°26'} = \dfrac{0{,}15}{0{,}761} = 0{,}197$; 0,3 > 0,197, следовательно, поворот возможен.

Ответ: поворот возможен.

Пример 6.2. Рассчитать коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей автобуса особо малого класса. На автобусе установлены колёса с шинами 185/82R15; давление воздуха в шинах: передних колёс 0,32 МПа, задних колёс 0,37 МПа.

Дано: $B_ш = 185$ мм; $d = 15''$; $p_{в1} = 0{,}32$ МПа; $p_{в2} = 0{,}37$ МПа.

Определить: k_{y1}; k_{y2}.

Решение: Коэффициент сопротивления уводу переднего колеса

$$k_{ук1} = 760 B_ш (d + 2B_ш)(0{,}1 + p_{в1}) = 760 \cdot 0{,}185(0{,}0254 \cdot 15 + 2 \cdot 0{,}185) \times$$
$$\times (0{,}1 + 0{,}32) = 44{,}3 \text{ кН / рад.}$$

Коэффициент сопротивления уводу заднего колеса

$$k_{ук2} = 760 B_ш (d + 2B_ш)(0{,}1 + p_{в2}) = 760 \cdot 0{,}185(0{,}0254 \cdot 15 + 2 \cdot 0{,}185) \times$$
$$\times (0{,}1 + 0{,}37) = 49{,}6 \text{ кН / рад.}$$

Коэффициент сопротивления уводу передней оси

$$k_{у1} = 2k_{ук1} = 2 \cdot 44{,}3 = 88{,}6 \text{ кН / рад.}$$

Коэффициент сопротивления уводу задней оси

$$k_{у2} = 2k_{ук2} = 2 \cdot 49{,}6 = 99{,}2 \text{ кН / рад.}$$

Ответ: $k_{у1}$ = 88,6 кН/рад; $k_{у2}$ = 99,2 кН/рад.

Пример 6.3. Спортивный автомобиль движется по круговой траектории радиусом 250 м. Масса автомобиля 990 кг; база 2,26 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,22 м; коэффициенты сопротивления уводу: переднего колеса 59 кН/рад, заднего – 71 кН/рад. Определить, во сколько раз изменятся средний угол поворота управляемых колёс и угловая скорость поворота автомобиля при разгоне с 10 км/ч до 160 км/ч.

Дано: $R_δ$ = 250 м; $m_а$ = 990 кг; L = 2,26 м; a = 1,22 м; $k_{ук1}$ = 59 кН/рад; $k_{ук2}$ = 71 кН/рад; $V'_а = 10$ км/ч; $V''_а = 160$ км/ч.

Определить: $\dfrac{\theta''}{\theta'}$; $\dfrac{\omega''_а}{\omega'_а}$.

Решение

Распределение массы автомобиля по осям:

– масса, приходящая на заднюю ось,

$$m_{а2} = \frac{m_а a}{L} = \frac{990 \cdot 1{,}22}{2{,}26} = 534 \text{ кг;}$$

– масса, приходящая на переднюю ось,

$$m_{а2} = m_а - m_{а2} = 990 - 534 = 456 \text{ кг.}$$

Коэффициенты сопротивления уводу осей:

– передней

$$k_{y1} = 2k_{y\text{к}1} = 2 \cdot 59 = 118 \text{ кН/рад};$$

– задней

$$k_{y2} = 2k_{y\text{к}2} = 2 \cdot 71 = 142 \text{ кН/рад}.$$

Центробежные силы, действующие на оси автомобиля при скоростях 10 км/ч и 160 км/ч:

– переднюю ось

$$F'_{ay1} = \frac{m_{\text{а}1} V'^2_{\text{а}}}{3{,}6^2 R_\delta} = \frac{456 \cdot 10^2}{3{,}6^2 \cdot 250} = 14 \text{ Н}; \; F''_{ay1} = \frac{m_{\text{а}1} V''^2_{\text{а}}}{3{,}6^2 R_\delta} = \frac{456 \cdot 160^2}{3{,}6^2 \cdot 250} = 3603 \text{ Н};$$

– заднюю ось

$$F'_{ay2} = \frac{m_{\text{а}2} V'^2_{\text{а}}}{3{,}6^2 R_\delta} = \frac{534 \cdot 10^2}{3{,}6^2 \cdot 250} = 16 \text{ Н}; \; F''_{ay2} = \frac{m_{\text{а}2} V''^2_{\text{а}}}{3{,}6^2 R_\delta} = \frac{456 \cdot 160^2}{3{,}6^2 \cdot 250} = 4219 \text{ Н}.$$

Углы увода осей при скоростях 10 км/ч и 160 км/ч:

– передней

$$\delta'_1 = \frac{F'_{ay1}}{k_{y1}} = \frac{14}{118 \cdot 10^3} = 0{,}000119 \text{ рад}; \; \delta''_1 = \frac{F''_{ay1}}{k_{y1}} = \frac{3603}{118 \cdot 10^3} = 0{,}0305 \text{ рад};$$

– задней

$$\delta'_2 = \frac{F'_{ay2}}{k_{y2}} = \frac{16}{142 \cdot 10^3} = 0{,}000113 \text{ рад}; \; \delta''_2 = \frac{F''_{ay2}}{k_{y2}} = \frac{4219}{142 \cdot 10^3} = 0{,}0297 \text{ рад}.$$

Средние углы поворота управляемых колёс при скоростях 10 км/ч и 160 км/ч:

$$\theta' = \frac{L}{R_\delta} + \delta'_1 - \delta'_2 = \frac{2{,}26}{250} + 0{,}000119 - 0{,}000113 = 0{,}00905 \text{ рад};$$

$$\theta'' = \frac{L}{R_\delta} + \delta''_1 - \delta''_2 = \frac{2{,}26}{250} + 0{,}0305 - 0{,}0297 = 0{,}00984 \text{ рад};$$

$$\frac{\theta''}{\theta'} = \frac{0{,}00984}{0{,}00905} = 1{,}09 .$$

Угловые скорости поворота автомобиля при скоростях 10 км/ч и 160 км/ч:

$$\omega'_{\text{а}} = \frac{V'_{\text{а}}}{3{,}6R_{\delta}} = \frac{10}{3{,}6 \cdot 250} = 0{,}0111 \text{ рад/с}; \ \omega''_{\text{а}} = \frac{V''_{\text{а}}}{3{,}6R_{\delta}} = \frac{160}{3{,}6 \cdot 250} = 0{,}178 \text{ рад/с};$$

$$\frac{\omega''_{\text{а}}}{\omega'_{\text{а}}} = \frac{0{,}178}{0{,}0111} = 16 .$$

Ответ: в 1,09 раза; в 16 раз.

Пример 6.4. При движении грузового автомобиля по окружности постоянного радиуса со скоростью 36 км/ч происходит его торможение с замедлением 4 м/с^2. Масса автомобиля 195 т, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 65 т; база 5,3 м; средний угол поворота передних управляемых колёс 5°. Найти суммарную тормозную силу на передних и задних колёсах автомобиля: а) без учёта увода колёс; б) при уводе передней и задней осей на угол 2°.

Дано: $V_{\text{а}}$ = 36 км/ч; a_{τ} = 4 м/с^2; $m_{\text{а}}$ = 195 т; $m_{\text{а}1}$ = 65 т; L = 5,3 м; θ = 5°; $\delta_1 = \delta_2$ = 2°.

Определить: а) F_{τ}; б) F'_{τ}.

Решение: Расстояния от центра масс:

– до задней оси

$$b = \frac{m_{\text{а}1}L}{m_{\text{а}}} = \frac{65 \cdot 5{,}3}{195} = 1{,}77 \text{ м};$$

– до передней оси

$$a = L - b = 5{,}3 - 1{,}77 = 3{,}53 \text{ м}.$$

Суммарная тормозная сила на передних и задних колёсах автомобиля F_{τ} равна продольной составляющей силы инерции F_{ax}:

– без учёта увода колёс $\delta_1 = \delta_2 = 0$ и $\theta = \dfrac{5°}{57{,}3°} = 0{,}087$ рад

$$F_{\tau} = F_{ax} = m_{\text{а}} a_x = m_{\text{а}}\left(\frac{V^2 b\theta^2}{L^2} - \dot{V}\right) = 195\left\{\frac{36^2}{3{,}6^2}\frac{1{,}77 \cdot 0{,}087^2}{5{,}3^2} - (-4)\right\} =$$

$$= 789{,}3 \text{ кН};$$

– при уводе передней и задней осей на угол $\delta_1 = \delta_2 = \dfrac{2°}{57{,}3°} = 0{,}0349$ рад и $\theta = 0{,}087$ рад

$$F'_\tau = F_{ax} = m_а \left\{ \frac{V^2 \left[b(\theta - \delta_1) - a\delta_2 \right] (\theta - \delta_1 + \delta_2)}{L^2} - \dot{V} \right\} =$$

$$= 195 \left\{ \frac{36^2}{3{,}6^2} \frac{\left[1{,}77(0{,}087 - 0{,}0349) - 3{,}53 \cdot 0{,}0349 \right] 0{,}087}{5{,}3^2} - (-4) \right\} =$$

$$= 778{,}1 \text{ кН}.$$

Ответ: а) F_τ = 789,3 кН; б) $F'_\tau = 778{,}1$ кН.

Пример 6.5. При движении грузового автомобиля с полной нагрузкой по окружности радиусом 90 м со скоростью 36 км/ч управляемые колёса повёрнуты на угол 2°18′. Этот же автомобиль без нагрузки движется в тех же условиях при повороте управляемых колёс на 2°52′. База автомобиля 3,8 м. Определить, какую поворачиваемость имеет автомобиль с грузом и без груза.

Дано: R_δ = 90 м; $V_а$ = 36 км/ч; $\theta_а$ = 2°18′; $\theta_о$ = 2°52′; L = 3,8 м.

Определить: поворачиваемость автомобиля с грузом и без груза.

Решение: Угловая скорость поворота автомобиля

$$\omega_а = \frac{V}{R_\delta} = \frac{36}{3{,}6 \cdot 90} = 0{,}111 \text{ рад/с}.$$

Статическая чувствительность к управлению:

– автомобиля с грузом

$$W_{yа} = \frac{\omega_а}{\theta_а} = \frac{0{,}111 \cdot 57{,}3}{2{,}3} = 2{,}77 \text{ с}^{-1};$$

– автомобиля без груза

$$W_{yо} = \frac{\omega_а}{\theta_о} = \frac{0{,}111 \cdot 57{,}3}{2{,}87} = 2{,}22 \text{ с}^{-1};$$

– автомобиля с нейтральной поворачиваемостью

$$\frac{V}{L} = \frac{36}{3{,}6 \cdot 3{,}8} = 2{,}63 \text{ с}^{-1}.$$

Поворачиваемость:

– автомобиля с грузом

$$2{,}77 \text{ с}^{-1} > 2{,}63 \text{ с}^{-1} \; W_y > \frac{V}{L} \text{ – избыточная;}$$

– автомобиля без груза

$$2{,}22\ \text{с}^{-1} < 2{,}63\ \text{с}^{-1}\ W_{y\text{о}} < \frac{V}{L} \text{ – недостаточная.}$$

Ответ: избыточную; недостаточную.

Пример 6.6. При движении автомобиля с постоянной скоростью 36 км/ч по круговой траектории радиусом 40 м угол крена подрессоренной массы составляет 4°. Подрессоренная масса 1020 кг; плечо крена 0,42 м. Определить угловую жёсткость подвески.

Дано: $V_а = 36$ км/ч; $R = 40$ м; $\lambda = 4°$; $m_п = 1020$ кг; $h_\lambda = 0{,}42$ м.

Определить: c_λ.

Решение: Центробежная сила, вызывающая крен подрессоренной массы,

$$F_{ay}^{п} = \frac{m_п V^2}{R} = \frac{1020 \cdot 36^2}{3{,}6^2 \cdot 40} = 2550 \text{ Н.}$$

Из выражения для расчёта угла крена подрессоренной массы

$$\lambda = \frac{F_{ay}^{п} h_\lambda}{c_\lambda - m_п g h_\lambda}$$

угловая жёсткость подвески

$$c_\lambda = \frac{F_{ay}^{п} h_\lambda + \lambda m_п g h_\lambda}{\lambda} = \frac{2550 \cdot 0{,}42 + \dfrac{4 \cdot 1020 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}42}{57{,}3}}{\dfrac{4}{57{,}3}} =$$

$$= 19545 \text{ Н·м/рад} = 19{,}5 \text{ кН·м/рад.}$$

Ответ: $c_\lambda = 19{,}5$ кН·м/рад.

Пример 6.7. Автобус движется со скоростью 100 км/ч по круговой траектории радиусом 200 м. Подрессоренная и неподрессоренная массы подвесок: передней 2153 кг и 197 кг, задней 2215 кг и 265 кг соответственно; угловые жёсткости подвесок: передней 90,8 кН·м/рад, задней 90,6 кН·м/рад; колеи колёс: передних 1,698 м, задних 1,673 м; высоты центров крена подрессоренной массы над опорной поверхностью: переднего 0 м, заднего 0,24 м; динамический радиус колёс 0,36 м; угол крена подрессоренной массы 3°22′. Определить нормальные реакции,

действующие на колёса автобуса при повороте, и оценить, на сколько процентов они отличаются от статических нагрузок.

Дано: $V_а$ = 100 км/ч; R = 200 м; $m_{п1}$ = 2153 кг; $m_{н1}$ = 197 кг; $m_{п2}$ = 2215 кг; $m_{н2}$ = 265 кг; $c_{\lambda 1}$ = 90,8 кН·м/рад; $c_{\lambda 2}$ = 90,6 кН·м/рад; B_1 = 1,698 м; B_2 = 1,673 м; h_1 = 0 м; h_2 = 0,24 м; $r_д$ = 0,36 м; λ_1 = 3°22′ = 3,37° = 3,37°/57,3° = 0,059 рад.

Определить: $R_{z1в}$; $R_{z1н}$; $R_{z2в}$; $R_{z2н}$; ΔR_{z1}; ΔR_{z2}.

Решение: Полная масса, приходящая на оси:

– переднюю

$$m_{а1} = m_{п1} + m_{н1} = 2153 + 197 = 2350 \text{ кг};$$

– заднюю

$$m_{а2} = m_{п2} + m_{н2} = 2215 + 265 = 2480 \text{ кг}.$$

Боковое ускорение автобуса

$$a_y = \frac{V^2}{R} = \frac{100^2}{3{,}6^2 \cdot 200} = 3{,}86 \text{ м/с}^2.$$

Суммарная угловая жёсткость подвесок автомобиля

$$c_\lambda = c_{\lambda 1} + c_{\lambda 2} = 90{,}8 + 90{,}6 = 181{,}4 \text{ кН·м/рад}.$$

Реактивные моменты подвесок:

– суммарный

$$T_р = c_\lambda \lambda = 181400 \cdot 0{,}059 = 10703 \text{ Н·м};$$

– передней

$$T_{р1} = \frac{T_р c_{\lambda 1}}{c_\lambda} = \frac{10703 \cdot 90{,}8}{181{,}4} = 5357 \text{ Н·м};$$

– задней

$$T_{р2} = \frac{T_р c_{\lambda 2}}{c_\lambda} = \frac{10703 \cdot 90{,}6}{181{,}4} = 5345 \text{ Н·м}.$$

Нормальные реакции:

– на передние колёса

$$R_{z1в} = 0{,}5m_{а1}g - \frac{\left(m_{п1}h_1 + m_{н1}r_д\right)a_y + T_{р1}}{B_1} =$$

$$= 0{,}5 \cdot 2350 \cdot 9{,}81 - \frac{\left(2153 \cdot 0 + 197 \cdot 0{,}36\right) \cdot 3{,}86 + 5357}{1{,}698} = 8210 \text{ Н};$$

$$R_{z1н} = 0{,}5m_{а1}g + \frac{\left(m_{п1}h_1 + m_{н1}r_д\right)a_y + T_{р1}}{B_1} =$$

$$= 0{,}5 \cdot 2350 \cdot 9{,}81 + \frac{\left(2153 \cdot 0 + 197 \cdot 0{,}36\right) \cdot 3{,}86 + 5357}{1{,}698} = 14844 \text{ Н};$$

– на задние колёса

$$R_{z2в} = 0{,}5m_{а2}g - \frac{\left(m_{п2}h_2 + m_{н2}r_д\right)a_y + T_{р2}}{B_2} =$$

$$= 0{,}5 \cdot 2480 \cdot 9{,}81 - \frac{\left(2215 \cdot 0{,}24 + 265 \cdot 0{,}36\right) \cdot 3{,}86 + 5345}{1{,}673} = 7520 \text{ Н};$$

$$R_{z2н} = 0{,}5m_{а2}g + \frac{\left(m_{п2}h_2 + m_{н2}r_д\right)a_y + T_{р2}}{B_2} =$$

$$= 0{,}5 \cdot 2480 \cdot 9{,}81 + \frac{\left(2215 \cdot 0{,}24 + 265 \cdot 0{,}36\right) \cdot 3{,}86 + 5345}{1{,}673} = 16808 \text{ Н}.$$

Статические нагрузки на колёса:
– переднее

$$G_{к1} = 0{,}5m_{а1}g = 0{,}5 \cdot 2350 \cdot 9{,}81 = 11527 \text{ Н};$$

– заднее

$$G_{к2} = 0{,}5m_{а2}g = 0{,}5 \cdot 2480 \cdot 9{,}81 = 12164 \text{ Н}.$$

Изменения нормальных реакций на колёса при повороте:
– на переднее

$$\Delta R_{z1} = \frac{R_{z1н} - G_{к1}}{G_{к1}}100 = \frac{14844 - 11527}{11527}100 = 29\,\%;$$

– заднее

$$\Delta R_{z2} = \frac{R_{z2н} - G_{к2}}{G_{к2}} 100 = \frac{16808 - 12164}{12164} 100 = 38\,\%.$$

Ответ: $R_{z1в} = 8210$ Н; $R_{z1н} = 14844$ Н; $R_{z2в} = 7520$ Н; $R_{z2н} = 16808$ Н; $\Delta R_{z1} = 29\,\%$; $\Delta R_{z2} = 38\,\%$.

Пример 6.8. Полноприводный легковой автомобиль движется по круговой траектории. Массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 700 кг и 670 кг соответственно; база 1,8 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 50 кН/рад; передаточное число рулевого управления 17; угол поворота рулевого колеса 18°. Определить скорость движения автомобиля по траектории кривизной 0,0076 1/м.

Дано: m_{a1} = 700 кг; m_{a2} = 670 кг; L = 1,8 м; $k_{y1} = k_{y2}$ = 50 кН/рад; $u_{р.у}$ = 17; $\theta_р$ = 18° = 18°/57,3° = 0,314 рад; K = 0,0076 1/м.

Определить: $V_а$.

Решение: Полная масса автомобиля

$$m_а = m_{а1} + m_{а2} = 700 + 670 = 1370 \text{ кг}.$$

Расстояния от центра масс до осей:

– передней

$$a = \frac{m_{а2} L}{m_а} = \frac{670 \cdot 1{,}8}{1370} = 0{,}88 \text{ м};$$

– задней

$$b = L - a = 1{,}8 - 0{,}88 = 0{,}92 \text{ м}.$$

Из формулы для расчёта кривизны траектории

$$K = \frac{\theta_р}{u_{р.у} L} \left[1 + \frac{m_а V_а^2 \left(a k_{y1} - b k_{y2} \right)}{3{,}6^2 \cdot L^2 k_{y1} k_{y2}} \right]$$

скорость движения автомобиля

$$V_{\text{а}} = 3{,}6\sqrt{\frac{\left(\frac{KLu_{\text{р.у}}}{\theta_{\text{р}}} - 1\right)L^2 k_{y1} k_{y2}}{m_{\text{а}}\left(ak_{y1} - bk_{y2}\right)}} =$$

$$= 3{,}6\sqrt{\frac{\left(\frac{0{,}0076 \cdot 1{,}8 \cdot 17}{0{,}314} - 1\right) \cdot 1{,}8^2 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^6}{1370\left(0{,}88 - 0{,}92\right) \cdot 50 \cdot 10^3}} = 100 \text{ км / ч.}$$

Ответ: $V_{\text{а}}$ = 100 км/ч.

Пример 6.9. Статический дисбаланс шин 175/70R13 легкового автомобиля 0,13 Н·м; коэффициент нормальной деформации шин 0,82; радиус качения на 6% больше статического радиуса; длина поворотной цапфы 0,1 м; максимальная скорость автомобиля 185 км/ч. Определить максимальную величину момента, который стремится повернуть управляемые колёса относительно шкворней из-за их неуравновешенности, если неуравновешенные массы левого и правого колёс смещены по фазе на 180°.

Дано: $T_{\text{дб}}$ = 0,13 Н·м; $B_{\text{ш}}$ = 175 мм; $\Delta_{\text{ш}}$ = 0,7; d = 13″; λ_z = 0,82; $r_{\text{к}}$ = 1,06 $r_{\text{ст}}$; $l_{\text{ц}}$ = 0,1 м; V_{amax} = 185 км/ч; φ = 180°; $T_{\text{п}} = 2T_{\text{п.к}}$.

Определить: $T_{\text{пmax}}$.

Решение: Радиусы колёс:

– статический

$$r_{\text{ст}} = \frac{d}{2} + \lambda_{\text{ш}}\Delta_{\text{ш}}B_{\text{ш}} = \frac{13 \cdot 0{,}0254}{2} + 0{,}82 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}175 = 0{,}265 \text{ м;}$$

– качения

$$r_{\text{к}} = 1{,}06 r_{\text{ст}} = 1{,}06 \cdot 0{,}265 = 0{,}281 \text{ м.}$$

Максимальный поворачивающий момент

$$T_{\text{п max}} = 2T_{\text{п.к}} = 2\frac{T_{\text{дб}}V_{\text{а max}}^2 l_{\text{ц}}}{3{,}6^2 g r_{\text{к}}^2} = 2\frac{0{,}13 \cdot 185^2 \cdot 0{,}1}{3{,}6^2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}281^2} = 88{,}6 \text{ Н·м.}$$

Ответ: $T_{\text{пmax}}$ = 88,6 Н·м.

Пример 6.10. Автобус полной массой 13,4 т совершает поворот радиусом 100 м со скоростью 65 км/ч. База автобуса 4,37 м; расстояние от центра масс до передней оси 3,03 м; размер тороидных шин 280R508; коэффициент нормальной деформации шин 0,83; угол наклона шкворней

управляемых колёс в продольной плоскости 4°30′. Определить суммарный стабилизирующий момент, действующий на передние управляемые колёса, без учёта их эластичности.

Дано: $m_а$ = 13,4 т; R = 100 м; $V_а$ = 65 км/ч; L = 4,37 м; a = 3,03 м; $B_ш$ = 280 мм; d = 508 мм; $\Delta_ш$ = 1; λ_z = 0,83; β = 4°30′.

Определить: $T_{ст}^{\beta}$.

Решение: Масса, приходящая на переднюю ось,

$$m_{а1} = \frac{m_а(L-a)}{L} = \frac{13{,}4(4{,}37-3{,}03)}{4{,}37} = 4{,}109 \text{ т.}$$

Средний угол поворота передних колёс

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{L}{R}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{4{,}37}{100}\right) = 2°30'.$$

Боковые реакции, действующие на передние колёса,

$$R_{y1} = \frac{m_{а1}V_а^2}{3{,}6^2 R\cos\theta} = \frac{4{,}109\cdot 10^3\cdot 65^2}{3{,}6^2\cdot 100\cdot\cos 2°30'} = 13409 \text{ Н.}$$

Радиусы колёс:

– статический

$$r_{ст} = \frac{d}{2} + \lambda_ш\Delta_ш B_ш = \frac{508}{2} + 0{,}83\cdot 1\cdot 280 = 486 \text{ мм} = 0{,}486 \text{ м}.$$

– динамический

$$r_д = r_{ст} = 0{,}486 \text{ м.}$$

Суммарный стабилизирующий момент

$$T_{ст}^{\beta} = R_{y1}r_д\sin\beta = 13409\cdot 0{,}486\sin 4°30' = 511 \text{ Н·м.}$$

Ответ: $T_{ст}^{\beta} = 511$ Н·м.

Пример 6.11. Автобус движется по окружности при максимальных углах поворота передних управляемых колёс. Расстояние от центра поворота до продольной оси автобуса 10 м; база 2,62 м; колея передних и задних колёс 1,474 м. Найти поворотную ширину по следам колёс автобуса.

Дано: R = 10 м; L = 2,62 м; $B_1 = B_2 = B$ = 1,474 м.

Определить: $B_п$.

Решение: Радиусы поворота:

– по следу заднего наружного колеса

$$R_{н2} = R + \frac{B_2}{2} = R + \frac{B}{2} = 10 + \frac{1{,}474}{2} = 10{,}737 \text{ м};$$

– по следу заднего внутреннего колеса

$$R_{\min\ вн} = R - \frac{B_2}{2} = R - \frac{B}{2} = 10 - \frac{1{,}474}{2} = 9{,}263 \text{ м};$$

– по следу переднего наружного колеса

$$R_{\min} = \sqrt{L^2 + R_{н2}^2} = \sqrt{2{,}62^2 + 10{,}747^2} = 11{,}062 \text{ м}.$$

Поворотная ширина по следам колёс

$$B_п = R_{\min} - R_{\min вн} = 11{,}062 - 9{,}263 = 1{,}8 \text{ м}.$$

Ответ: $B_п = 1{,}8$ м.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 6.1. Грузовой автомобиль совершает поворот радиусом 4,5 м по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,15 и коэффициентом сцепления 0,3. Полная масса автомобиля 6280 кг, в том числе на задний ведущий мост 58,6% полной массы; база 3,77 м; колея задних колёс 1,77 м; в заднем мосту установлен межколёсный дифференциал повышенного трения с коэффициентом блокировки 0,75. Определить возможность поворота автомобиля.

Задача 6.2. Переднеприводный легковой автомобиль движется по дороге с коэффициентом сопротивления качению 0,05 и коэффициентом сцепления 0,25 с минимальным радиусом поворота 5 м. Масса автомобиля 1325 кг; база 2,46 м; расстояние от центра масс до задней оси 1,24 м; расстояние между осями поворота управляемых колёс 1,4 м. Определить поворачивающий момент, момент сопротивления повороту и возможность поворота автомобиля.

Задача 6.3. Рассчитать коэффициент сопротивления уводу колеса с шиной 1300 × 530 – 583 при внутреннем давлении воздуха в шине 0,4 МПа. На сколько процентов изменится коэффициент сопротивления уводу колеса при увеличении на 20%: а) ширины профиля шины; б) диаметра обода шины; в) давления воздуха в шине?

Задача 6.4. Легковой неполноприводный автомобиль с задними ведущими колёсами движется на подъёме с уклоном 30%. Массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 885 кг и 965 кг соответственно;

давление воздуха в шинах передних и задних колёс 0,2 МПа; база 2,8 м; высота центра масс 0,62 м; шины 205/70R14; коэффициент сцепления 0,7; максимальный угол «чистого» увода колеса 1°30′; максимальный угол увода 10°. Рассчитать коэффициент сопротивления уводу задней оси: а) без учёта влияния на коэффициент сопротивления уводу изменения нормальных реакций, действия продольных реакций и нелинейной зависимости между углом увода и боковой силой; б) с учётом влияния названных факторов. Во сколько раз коэффициент сопротивления уводу в случае а) больше, чем в случае б)?

Задача 6.5. По условию задачи 6.4 рассчитать коэффициент сопротивления уводу передней оси для случаев а) и б).

Задача 6.6. У грузового автомобиля база 2,9 м; расстояние между осями шкворней поворотных цапф 1,7 м; минимальный радиус поворота 5,5 м. Определить максимальные углы поворота передних управляемых колёс без учёта увода осей автомобиля.

Задача 6.7. На сколько процентов изменится угол поворота внутреннего управляемого колеса автомобиля, параметры которого приведены в задаче 6.6, с учётом увода его осей? Масса автомобиля 3500 кг; расстояние от центра масс до передней оси 1,906 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 60,4 кН/рад и 84,5 кН/рад соответственно; скорость движения 18 км/ч.

Задача 6.8. Расстояние от продольной оси автобуса до центра поворота 16 м; база 4,345 м; радиус поворота по следу переднего наружного колеса 17,6 м; передаточное число рулевого правления 23,55. Найти углы поворота управляемых колёс и рулевого колеса.

Задача 6.9. Легковой автомобиль движется со скоростью 72 км/ч по окружности радиусом 150 м. Масса автомобиля 1550 кг; база 2,5 м; расстояние от центра масс до задней оси 1,2 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 60 кН/рад и 70 кН/рад соответственно; передаточное число рулевого управления 17. Определить угол поворота рулевого колеса и угловую скорость поворота автомобиля.

Задача 6.10. Автобус движется по круговой траектории радиусом 60 м со скоростью 75 км/ч. Масса автобуса с пассажирами13,4 т; база 4,37 м; расстояние от центра масс до передней оси 3,03 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 364 кН/рад и 596 кН/рад соответственно. Определить средний угол поворота управляемых колёс. На сколько процентов изменится этот угол у автобуса без пассажиров, масса которого 8,6 т и расстояние от центра масс до передней оси 3,18 м.

Задача 6.11. Грузовой автомобиль совершает поворот со скоростью 80 км/ч. Масса автомобиля 15,6 т; база 3,95 м; расстояние от центра масс до задней оси 1,13 м; коэффициенты сопротивления уводу передней оси 394 кН/рад, средней и задней осей – 872 кН/рад; средний угол поворота

управляемых колёс 3°14′. Найти радиус и угловую скорость поворота автомобиля.

Задача 6.12. Автобус движется с постоянной скоростью 54 км/ч на повороте радиусом 100 м. Масса автобуса 13 т; расстояние от центра масс до передней и задней осей 3,605 м и 1,94 м соответственно; коэффициент сопротивления дороги 0,02; фактор обтекаемости 2,33 Н·с^2/м^2; коэффициент учёта вращающихся масс 1,08. Определить тяговую силу на ведущих колёсах: а) без учёта увода осей; б) с учётом угла увода задней оси, равного 3°30′. На сколько процентов различаются тяговые силы в этих случаях?

Задача 6.13. При движении самосвала по криволинейной траектории с постоянным радиусом 50 м со скоростью 30 км/ч происходит его торможение с замедлением 2 м/с^2. Масса самосвала 210 т, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 69,3 т; база 5,3 м. Найти суммарную тормозную силу на передних и задних колёсах самосвала: а) без учёта увода осей; б) с учётом угла увода задней оси 4°. На сколько процентов различаются тормозные силы в этих случаях?

Задача 6.14. Легковой автомобиль при движении со скоростью 60 км/ч по окружности радиусом 70 м разгоняется с ускорением 0,42 м/с^2. Массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 675 кг и 665 кг соответственно; база 2,46 м; высота центра масс 0,56 м. Рассчитать коэффициенты изменения нормальных реакций, действующих на передние и задние колёса: а) для автомобиля с жёсткими колёсами; б) для автомобиля с эластичными колёсами, если угол увода задней оси 4°. Силами сопротивления качению и сопротивления воздуха пренебречь.

Задача 6.15. При движении грузового автомобиля с постоянной скоростью 72 км/ч, когда передние управляемые колёса повёрнуты на средний угол 2°16′, водитель начинает поворачивать их с угловой скоростью 0,2 рад/с. Масса автомобиля 2670 кг; база 2,76 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,58 м; радиус инерции относительно вертикальной оси 1,36 м. Найти боковые реакции на передние и задние колёса со стороны дороги при условии, что колёса жёсткие.

Задача 6.16. Решить задачу 6.15 для автомобиля с эластичными колёсами. Углы увода передней и задней осей 4°28′ и 5°57′ соответственно; угловые скорости изменения их углов увода 0,1 рад/с и 0,15 рад/с соответственно. Во сколько раз боковые реакции автомобиля с эластичными колёсами отличаются от величин боковых реакций автомобиля с жёсткими колёсами?

Задача 6.17. Легковой автомобиль движется со скоростью 80 км/ч по окружности радиусом 120 м. Масса автомобиля 3800 кг; расстояния от центра масс до передней и задней осей 2,08 м и 1,8 м соответственно; мо-

мент инерции относительно вертикальной оси 7080 кг·м^2. Определить боковые реакции дороги на передние и задние колёса автомобиля при его торможении с замедлением 5 м/с^2. Эластичностью колёс пренебречь.

Задача 6.18. Решить задачу 6.17 с учётом эластичности колёс при углах увода передних и задних осей 6° и 4° соответственно.

Задача 6.19. Грузовой автомобиль движется со скоростью 50 км/ч на прямолинейном участке дороги. При переходе на криволинейный участок радиусом 60 м водитель поворачивает рулевое колесо с угловой скоростью 0,37 рад/с. Масса автомобиля 15,3 т; расстояния от центра масс до передней и задней осей 3,22 м и 1,29 м соответственно; радиус инерции относительно вертикальной оси 2,13 м; передаточное число рулевого управления 20. Рассчитать, какую часть боковых реакций, действующих на передние и задние колёса автомобиля, составляют реакции, обусловленные действием центробежной силы при круговом движении; связанные с изменением угла поворота управляемых колёс; возникающие при изменении скорости движения, если ускорение разгона автомобиля к моменту окончания поворота управляемых колёс равно 1 м/с^2. Колёса автомобиля жёсткие.

Задача 6.20. Решить задачу 6.19 для автомобиля с эластичными колёсами. Углы увода передней и задней осей 1°30′ и 2° соответственно, а угловые скорости их изменения 0,008 рад/с и 0,01 рад/с соответственно.

Задача 6.21. Грузовой автомобиль повышенной проходимости с колёсной формулой 6×6 движется по круговой траектории со скоростью 90 км/ч при среднем угле поворота передних управляемых колёс 2°10′. Масса автомобиля 15420 кг, в том числе на переднюю ось 5320 кг; база 4 м; шины 1220×400 – 533. На сколько метров изменится радиус поворота автомобиля, если давление воздуха в шинах будет снижено с 0,35 МПа до 0,15 МПа, а средний угол поворота управляемых колёс останется неизменным.

Задача 6.22. Легковой автомобиль движется со скоростью 100 км/ч по криволинейному участку дороги радиусом 120 м. Масса автомобиля 3165 кг; база 3,45 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,77 м; шины 235 – 380; давление воздуха в шинах передних и задних колёс 0,18 МПа. На сколько процентов изменится средний угол поворота управляемых колёс, если давление воздуха в шинах передних и задних колёс будет снижено на 25%.

Задача 6.23. Легковой автомобиль движется без пассажиров со скоростью 80 км/ч на повороте постоянного радиуса со средним углом поворота управляемых колёс 34′. Масса автомобиля 727 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 444 кг; база 2,32 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 40,5 кН/рад и 44 кН/рад соот-

ветственно. На сколько процентов изменится радиус поворота автомобиля в тех же условиях движения, если при посадке пассажиров масса автомобиля стала равной 1127 кг, а центр масс сместился назад на 0,23 м.

Задача 6.24. Автобус движется на прямолинейном участке дороги с поперечным уклоном 7%. Масса автобуса 6289 кг; база 3,77 м; расстояние от центра масс до передней оси 2,76 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 137 кН/рад и 313 кН/рад соответственно. Определить, какую поворачиваемость имеет автобус и каков радиус траектории движения. Какую поворачиваемость и какой радиус поворота будет иметь автобус при движении без пассажиров? Массы автобуса без пассажиров, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 1530 кг и 2500 кг соответственно.

Задача 6.25. Двухосный грузовой автомобиль движется прямолинейно под действием бокового ветра силой 6,5 кН. База автомобиля 4,65 м; расстояние от бокового метацентра до передней оси 2 м; шины 300R508; давление воздуха в шинах передних и задних колёс 0,75 МПа и 0,67 МПа соответственно; коэффициент коррекции, учитывающий влияние продольных реакций на задние ведущие колёса, 0,82. Определить, каковы поворачиваемость автомобиля и радиус траектории движения.

Задача 6.26. При движении грузового автомобиля с полной нагрузкой по окружности радиусом 100 м со скоростью 90 км/ч передние управляемые колёса повёрнуты на средний угол 2°9′, а при движении без нагрузки – на 4°45′. База автомобиля 4,5 м. Определить статическую чувствительность к управлению и поворачиваемость автомобиля при движении с полной нагрузкой и без нагрузки.

Задача 6.27. Легковой автомобиль движется со скоростью 100 км/ч по траектории радиусом 100 м. Масса автомобиля 1395 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 635 кг; база 2,424 м; шины 175/70R13; давление воздуха в шинах передних и задних колёс 0,17 МПа и 0,2 МПа соответственно. При повороте передние колёса наклоняются в сторону действия боковой силы на 6°, задние колёса – в сторону, противоположную действию боковой силы, на 8°; коэффициент сопротивления уводу от наклона колёс 4. Рассчитать угол поворота управляемых колёс и определить, какова поворачиваемость автомобиля.

Задача 6.28. Легковой автомобиль движется со скоростью 72 км/ч по окружности радиусом 75 м на горизонтальной поверхности. Подрессоренная масса 1275 кг; плечо крена 0,65 м; угловая жёсткость передней и задней подвесок 15,8 кН·м/рад и 20,3 кН·м /рад соответственно. Определить угол крена подрессоренной массы. На сколько процентов изменится угол крена при установке в передней подвеске стабилизатора поперечной устойчивости, угловая жёсткость которого 15,8 кН·м/рад.

Задача 6.29. Грузовой автомобиль движется на косогоре, угол которого равен 10°. Подрессоренная масса автомобиля 8100 кг; плечо крена подрессоренной массы 0,7 м; угол крена подрессоренной массы 0,6°. Рассчитать угловые жёсткости передней и задней подвесок, если угловая жёсткость задней подвески в 5 раз больше угловой жёсткости передней подвески.

Задача 6.30. При движении легкового автомобиля со скоростью 70 км/ч по круговой траектории радиусом 100 м угол крена подрессоренной массы 6°30′. Подрессоренная масса автомобиля 2450 кг; угловая жёсткость задней зависимой подвески 20 кН·м/рад, передней независимой подвески – в 1,6 раза больше. Найти плечо крена подрессоренной массы.

Задача 6.31. Легковой автомобиль движется прямолинейно по косогору с уклоном 10%. Подрессоренная масса автомобиля 1195 кг; база 2,424 м; расстояния от центра подрессоренной массы до передней оси 1,227 м, до поверхности дороги 0,6 м; передняя подвеска независимая с центром крена на поверхности дороги, задняя – зависимая с центром крена на 0,3 м выше поверхности дороги; угловые жёсткости передней и задней подвесок 19,2 кН·м/рад и 10 кН·м/рад соответственно. Определить угол крена подрессоренной массы автомобиля.

Задача 6.32. Легковой автомобиль совершает поворот радиусом 75 м со скоростью 72 км/ч. Массы автомобиля: передние подрессоренная и неподрессоренная 593 кг и 66 кг соответственно, задние подрессоренная и неподрессоренная 680 кг и 106 кг соответственно; угловые жёсткости подвесок: передней 17,3 кН·м /рад, задней 10 кН·м /рад; колея передних и задних колёс 1,247 м; высоты центров крена передней и задней подвесок 0 м и 0,25 м соответственно; динамический радиус колёс 0,27 м; расстояние от центра подрессоренных масс до поверхности дороги 0,593 м; база 2,4 м. Рассчитать нормальные реакции, действующие на колёса автомобиля при повороте.

Задача 6.33. Грузовой автомобиль движется на повороте с боковым ускорением 4 м/с^2. Полная масса автомобиля 9525 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 2575 кг; передняя и задняя подрессоренные массы 2100 кг и 6000 кг соответственно; база 3,8 м; расстояния от поверхности дороги до центров крена передней и задней подвесок 0,476 м и 0,596 м соответственно; динамический радиус колёс 0,476 м; угловые жёсткости передней и задней подвесок 136 кН·м/рад и 457 кН·м/рад соответственно; колея передних и задних колёс 1,8 м и 1,79 м соответственно; угол крена подрессоренной массы 2°16′. Определить нормальные реакции, действующие на колёса автомобиля при повороте, и рассчитать, на сколько процентов они отличаются от статических нагрузок.

Задача 6.34. Городской автобус совершает поворот радиусом 125 м со скоростью 70 км/ч. Полная масса автобуса 13470 кг, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 8150 кг; передняя и задняя неподрессолренные массы 880 кг и 1300 кг соответственно; база 5,15 м; колея передних и задних колёс 2,05 м и 1,84 м соответственно; расстояния переднего и заднего центров крена до опорной поверхности 0,638 м и 0,65 м соответственно; динамический радиус колёс 0,488 м; плечо крена подрессоренной массы 0,876 м; угловые жёсткости передней и задней подвесок 251 кН·м/рад и 202 кН·м/рад соответственно. Найти нормальные реакции, действующие на передние и задние колёса при повороте, и рассчитать, во сколько раз они отличаются от статических нагрузок.

Задача 6.35. Легковой автомобиль движется по окружности с постоянным углом поворота рулевого колеса 120°. Масса автомобиля 1850 кг, в том числе приходящаяся на переднюю ось, 885 кг; база 2,8 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 58 кН/рад и 62 кН/рад соответственно; передаточное число рулевого управления 19,1. Определить, во сколько раз изменится кривизна траектории при разгоне автомобиля со скорости 30 км/ч до скорости 152 км/ч.

Задача 6.36. Грузовой автомобиль движется по траектории кривизной 0,01 $м^{-1}$. Массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 3725 кг и 8000 кг соответственно; база 4,5 м; передаточное число рулевого управления 20; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 194 кН/рад и 510 кН/рад соответственно. Найти углы поворота рулевого колеса при скоростях движения автомобиля 30 км/ч и 95 км/ч и оценить, во сколько раз изменится этот угол при разгоне в заданном диапазоне скоростей движения.

Задача 6.37. Грузовой автомобиль движется по криволинейной траектории с постоянным углом поворота рулевого колеса 43°. Массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, при полной нагрузке 2125 кг и 5975 кг, в снаряжённом состоянии 1985 кг и 1765 кг соответственно; база 3,77 м; передаточное число рулевого управления 22,46; коэффициенты сопротивления уводу передней оси 195 кН/рад, задней – 519 кН/рад. Рассчитать кривизну траектории движения гружёного и негружёного автомобиля при скорости 95 км/ч.

Задача 6.38. Двухосный полноприводный грузовой автомобиль движется по окружности с постоянным углом поворота рулевого колеса 100°. Полная масса автомобиля 11,6 т; база 4,2 м; расстояние от центра масс до задней оси 2,03 м; шины с регулируемым давления воздуха 425/85R21; максимальное давление воздуха в шинах 0,35 МПа; передаточное число рулевого управления 21,7. Определить кривизну траектории

при движении автомобиля со скоростью 54 км/ч. Как изменится кривизна траектории при понижении давления воздуха в шинах до 0,2 МПа?

Задача 6.39. Статический дисбаланс тороидных шин 155–13 легкового автомобиля 0,3 Н·м; коэффициент нормальной деформации шин 0,73; радиус качения на 2% больше динамического радиуса; длина поворотной цапфы 0,08 м; максимальная скорость 120 км/ч. Определить максимальный поворачивающий момент, действующий на управляемое колесо, из-за его статической неуравновешенности. На сколько процентов изменится величина поворачивающего момента при установке на управляемые колёса шин 155/70R13, у которых коэффициент нормальной деформации 0,9; радиус качения на 4% больше динамического радиуса.

Задача 6.40. Статический дисбаланс тороидных шин 300R508 грузового автомобиля 1,15 Н·м; коэффициент нормальной деформации шин 0,84; радиус качения на 4% больше динамического радиуса; длина поворотной цапфы 0,16 м; максимальная скорость 75 км/ч. Найти максимальный поворачивающий момент, действующий на управляемое колесо, вызванный его статической неуравновешенностью. На сколько процентов уменьшится поворачивающий момент, если после балансировки статический дисбаланс колеса стал равным 0,3 Н·м.

Задача 6.41. Грузовой автомобиль движется с максимальной скоростью 80 км/ч по круговой траектории радиусом 100 м. Полная масса автомобиля 18,225 т; база 4,35 м; расстояние от центра масс до передней оси 3,33 м; коэффициент сопротивления качению передних ведомых колёс 0,02; смещение точки приложения боковой реакции от центра контакта колеса с дорогой 8,4 мм; боковое смещение центра колеса относительно центра отпечатка 20 мм. Определить суммарный стабилизирующий момент, создаваемый за счёт увода управляемых колёс.

Задача 6.42. Самосвал движется по окружности радиусом 100 м со скоростью 90 км/ч. Полная и снаряжённая массы самосвала 10 т и 4,5 т соответственно; база 3,8 м; расстояния от центра масс до передней оси при полной нагрузке и в снаряжённом состоянии 2,66 м и 2,11 м соответственно; шины 260–508Р; давление воздуха в шинах передних колёс 0,47 МПа. Зависимость стабилизирующего момента шины 260–508Р от угла увода приведена на рис. 6.1. Определить суммарный стабилизирующий момент, действующий на управляемые колёса самосвала: а) с полной нагрузкой; б) без нагрузки.

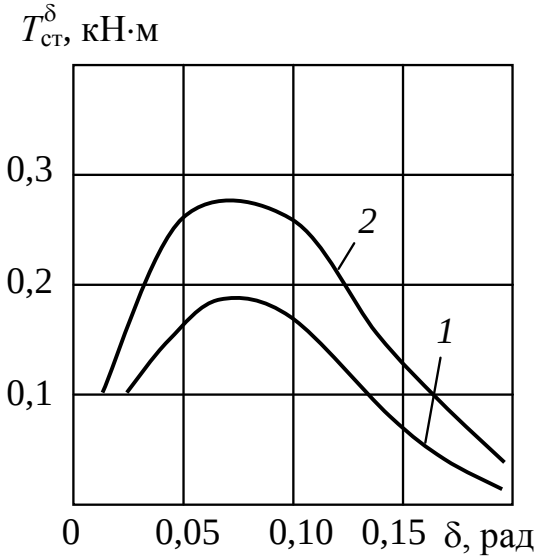


Рис. 6.1. Зависимость стабилизирующего момента шины 260–508Р при давлении воздуха 0,47 МПа и нормальных нагрузках: *1* – 10 кН; *2* – 15 кН

Задача 6.43. Автобус движется со скоростью 70 км/ч по окружности радиусом 100 м. Масса автобуса 17,63 т; база 5,84 м; расстояние от центра масс до задней оси 2,13 м; шины 11/70R22,5; коэффициент нормальной деформации шин 0,9; угол продольного наклона шкворней 4°30′. Определить суммарный стабилизирующий момент, действующий на управляемые колёса. На сколько процентов изменится величина суммарного стабилизирующего момента автобуса без пассажиров, у которого масса, приходящаяся на передние колёса, 2900 кг.

Задача 6.44. Грузовой автомобиль совершает поворот с минимальным радиусом 8,3 м. Масса автомобиля 10,4 т; база 3,8 м; расстояние от центра масс до передней оси 2,88 м; шины 260R508; коэффициент нормальной деформации шин 0,9; расстояние между осями шкворней управляемых колёс 1,528 м; длина поворотной цапфы 0,136 м; угол поперечного наклона шкворней 10°. Найти суммарный стабилизирующий момент, действующий на управляемые колёса.

Задача 6.45. Легковой автомобиль движется при максимальных углах поворота управляемых колёс. База автомобиля 2,4 м; колея передних колёс 1,27 м; длина поворотной цапфы 87 мм; расстояние от наиболее удалённой от центра поворота точки автомобиля до оси следа наружного переднего колеса 0,35 м; максимальный угол поворота переднего внутреннего колеса 35°. Определить минимальный и внешний габаритный радиусы поворота автомобиля.

Задача 6.46. Автобус совершает поворот радиусом 5 м. База автобуса 2,76 м; колея передних и задних колёс 1,7 м. Найти поворотную ширину по следам колёс автобуса.

Задача 6.47. Самосвал совершает поворот с минимальным радиусом 9,3 м. Поворотная ширина по следам колёс 2,73 м; база 3,6 м; передаточное число рулевого управления 23,6. Определить угол поворота и число оборотов рулевого колеса.

Задача 6.48. Грузовой автомобиль движется по окружности при максимальном угле поворота переднего наружного колеса 27°. База автомобиля 4,8 м; колея передних и задних колёс 2,08 м; расстояния от наиболее удалённой от центра поворота и наиболее близкой к центру поворота точек автомобиля до следов переднего наружного и заднего внутреннего колёс 0,8 м и 0,21 м соответственно. Рассчитать габаритную полосу движения автомобиля, приняв расстояние между осями шкворней управляемых колёс равным колее передних колёс.

Задача 6.49. Автобус приближается к повороту. Водитель видит выбоину на дороге и совершает манёвр, направляя автобус по наружной границе полотна дороги, радиус кривизны которой равен 15 м. База автобуса 4,505 м. На каком расстоянии от наружной границы полотна будет катиться заднее наружное колесо автобуса?

Задача 6.50. Легковой автомобиль движется на повороте с максимальным приближением к внутренней границе полотна дороги, радиус кривизны которой равен 15 м. База автомобиля 2,8 м. На каком расстоянии от внутренней границы полотна дороги должно катиться переднее колесо автомобиля, чтобы заднее внутреннее колесо не выходило за пределы дороги.

7. УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Траекторная и курсовая устойчивость автомобиля

Критическая скорость по курсовой и траекторной устойчивости движения (м/с)

$$V_{\omega} = \sqrt{\frac{L}{\frac{m_{a2}}{k_{y2}} - \frac{m_{a1}}{k_{y1}}}} = \sqrt{\frac{L}{k_{пв}}}; \qquad (7.1)$$

– характеристическая скорость (м/с)

$$V_{хар} = \sqrt{\frac{L}{\frac{m_{a1}}{k_{y1}} - \frac{m_{a2}}{k_{y2}}}} = \sqrt{\frac{L}{-k_{пв}}}; \qquad (7.2)$$

– координаты точки нейтральной поворачиваемости (м)

$$a_{\delta} = \frac{k_{y2}L}{k_{y1} + k_{y2}}; \; b_{\delta} = \frac{k_{y1}L}{k_{y1} + k_{y2}}; \qquad (7.3)$$

– запас курсовой устойчивости (м)

$$l_{\delta} = \frac{k_{y2}b - k_{y1}a}{k_{y1} + k_{y2}}; \qquad (7.4)$$

– коэффициент запаса курсовой устойчивости

$$k = \frac{k_{y2}b - k_{y1}a}{L\left(k_{y1} + k_{y2}\right)}, \qquad (7.5)$$

где L – база автомобиля, м; m_{a1} и m_{a2} – массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно, кг; k_{y1} и k_{y2} – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей соответственно, Н/рад; $k_{пв}$ – коэффициент поворачиваемости, с^2/м; a_{δ} и b_{δ} – расстояния от точки нейтральной поворачиваемости до передней и задней осей соответственно, м; a и b – расстояния от центра масс до передней и задней осей соответственно, м.

2. Поперечная устойчивость автомобиля

Прямолинейное движение автомобиля на косогоре

Движение без учёта деформации упругих составных частей автомобиля. Критический угол косогора (рад):

– по боковому опрокидыванию автомобиля

$$\beta_{\text{опр}} = \text{arctg}\left(\frac{B}{2h_g}\right); \tag{7.6}$$

– по боковому скольжению (заносу) автомобиля

$$\beta_{\varphi} = \text{arctg}\ \varphi_y. \tag{7.7}$$

Движение с учётом деформации упругих элементов подвесок. Уравнение для расчёта критического угла косогора по боковому опрокидыванию автомобиля

$$0{,}5B\cos\beta_{\text{опр}} - h_{\text{п}}\sin\beta_{\text{опр}} = \frac{G_{\text{п}}h_{\lambda}^2\sin\beta_{\text{опр}}\cos\beta_{\text{опр}}}{c_{\lambda} - G_{\text{п}}h_{\lambda}\cos\beta_{\text{опр}}}, \tag{7.8}$$

где B – колея автомобиля, м; h_g – высота центра масс автомобиля, м; φ_y – коэффициент поперечного сцепления; $h_{\text{п}}$ – расстояние от центра подрессоренной массы до опорной поверхности, м; h_{λ} – плечо крена подрессоренной массы, м; c_{λ} – угловая жёсткость подвески, Н·м/рад.

Установившееся круговое движение автомобиля на горизонтальной дороге

Движение без учёта крена подрессоренной массы автомобиля. Критические параметры по боковому опрокидыванию автомобиля:

– критическая скорость (м/с)

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{gRB}{2h_g}}; \tag{7.9}$$

– критический радиус поворота (м)

$$R_{\text{опр}} = \frac{2h_gV^2}{gB}; \tag{7.10}$$

критические параметры по боковому скольжению (заносу) автомобиля:

– критическая скорость (м/с)

$$V_{\varphi} = \sqrt{\varphi_y gR}\,; \tag{7.11}$$

– критический радиус поворота (м)

$$R_{\varphi} = \frac{V^2}{\varphi_y g}\,. \tag{7.12}$$

Движение с учётом крена подрессоренной массы автомобиля. Критическая скорость по боковому опрокидыванию автомобиля с учётом крена подрессоренной массы (м/с)

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{gRB}{2\left(h_{\text{п}} + \dfrac{G_{\text{п}} h_{\lambda}^2}{c_{\lambda} - G_{\text{п}} h_{\lambda}}\right)}}\,, \tag{7.13}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; R – радиус поворота автомобиля, м; B – колея автомобиля, м; h_g – расстояние от центра масс автомобиля до опорной поверхности дороги, м; φ_y – коэффициент поперечного сцепления; $h_{\text{п}}$ – расстояние от центра подрессоренной массы до опорной поверхности, м; $G_{\text{п}}$ – сила тяжести подрессоренной массы, Н; h_{λ} – плечо крена подрессоренной массы, м; c_{λ} – угловая жёсткость подвески, Н·м/рад.

Движение автомобиля на вираже

Движение без учёта крена подрессоренной массы. Критические параметры по боковому опрокидыванию автомобиля:

– критический угол виража (рад)

$$\beta_{\text{опр}} = \text{arctg}\left(\frac{2V^2 h_g - gRB}{V^2 B + 2gRh_g}\right); \tag{7.14}$$

– критическая скорость движения автомобиля (м/с)

$$V_{\text{опр}} = \sqrt{gR\left(\frac{B + 2h_g \text{tg}\beta}{2h_g - B\text{tg}\beta}\right)}; \tag{7.15}$$

– критический радиус виража (м)

$$R_{\text{опр}} = V^2\left[\frac{2h_g - B\text{tg}\beta}{g\left(B + 2h_g \text{tg}\beta\right)}\right]; \tag{7.16}$$

критические параметры по боковому скольжению (заносу):

– критический угол виража (рад)

$$\beta_{\varphi} = \mathrm{arctg}\left(\frac{V^2 - \varphi_y gR}{\varphi_y V^2 + gR}\right); \qquad (7.17)$$

– критическая скорость движения автомобиля (м/с)

$$V_{\varphi} = \sqrt{gR\left(\frac{\varphi_y + \mathrm{tg}\beta}{1 - \varphi_y \mathrm{tg}\beta}\right)}; \qquad (7.18)$$

– критический радиус виража (м)

$$R_{\varphi} = V^2\left[\frac{1 - \varphi_y \mathrm{tg}\beta}{g\left(\varphi_y + \mathrm{tg}\beta\right)}\right], \qquad (7.19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; B – колея автомобиля, м; h_g – расстояние от центра масс автомобиля до опорной поверхности дороги, м; φ_y – коэффициент поперечного сцепления.

Коэффициент поперечной устойчивости:

– без учёта крена подрессоренной массы

$$\eta_{\text{п.у}} = \frac{B}{2h_g}; \qquad (7.20)$$

– с учётом крена подрессоренной массы

$$\eta_{\text{п.у}\,\lambda} = \eta_{\text{п.у}}\left[1 - \frac{m_{\text{п}} g h_{\lambda}^2}{h_g\left(c_{\lambda} - m_{\text{п}} g h_{\lambda}\right)}\right], \qquad (7.21)$$

где B – колея автомобиля, м; h_g – расстояние от центра масс автомобиля до опорной поверхности дороги, м; $m_{\text{п}}$ – подрессоренная масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; h_{λ} – плечо крена подрессоренной массы, м; c_{λ} – угловая жёсткость подвески, Н·м/рад.

3. Устойчивость автомобиля против заноса

Устойчивость автомобильного колеса. Коэффициенты:

– боковой силы колеса

$$k_y = \frac{R_y}{R_z}; \tag{7.22}$$

– продольной силы колеса

$$k_x = \frac{R_x}{R_z}. \tag{7.23}$$

Предельные по сцеплению величины:
– боковой реакции (Н):

$$R_{y\max} = \sqrt{\varphi^2 R_z^2 - R_x^2}; \tag{7.24}$$

– коэффициента боковой силы:

$$k_{y\max} = \sqrt{\varphi^2 - k_x^2}, \tag{7.25}$$

где R_x, R_y, R_z – продольная, боковая, нормальная реакции, действующие на колесо, соответственно, Н; φ – коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Условия устойчивости по боковому скольжению (заносу):
– передних колёс (Н)

$$\Sigma R_{y1} \le \sqrt{(\varphi_1 \Sigma R_{z1})^2 - \Sigma R_{x1}^2}; \tag{7.26}$$

– задних колёс (Н)

$$\Sigma R_{y2} \le \sqrt{(\varphi_2 \Sigma R_{z2})^2 - \Sigma R_{x2}^2}; \tag{7.27}$$

в безразмерном виде:
– передних колёс

$$k_{y1} \le \sqrt{\varphi_1^2 - k_{x1}^2}; \tag{7.28}$$

– задних колёс

$$k_{y2} \le \sqrt{\varphi_2^2 - k_{x2}^2}. \tag{7.29}$$

Критические скорости установившегося кругового движения автомобиля по боковому скольжению (заносу) (м/с):

– передних колёс

$$V_{\varphi 1} = \sqrt{gR\sqrt{\varphi_1^2 - k_{x1}^2}}\,; \tag{7.30}$$

– задних колёс

$$V_{\varphi 2} = \sqrt{gR\sqrt{\varphi_2^2 - k_{x2}^2}}\,, \tag{7.31}$$

где ΣR_{y1} и ΣR_{y2} – суммарные боковые реакции, Н; ΣR_{z1} и ΣR_{z2} – суммарные нормальные реакции, Н; ΣR_{x1} и ΣR_{x2} – суммарные продольные реакции, Н, действующие на передние и задние колёса соответственно; φ_1 и φ_2 – коэффициенты сцепления передних и задних колёс с дорогой; k_{x1} и k_{x2} – коэффициенты продольной силы передних и задних колёс соответственно; g – ускорение свободного падения, м/с^2; R – радиус поворота автомобиля, м.

4. Продольная устойчивость автомобиля на подъёме

Наибольшие (предельные) углы преодолеваемого подъёма по опрокидыванию (отрыву передних колёс) (рад):

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\text{опр}} = \text{arctg}\left[\frac{G_{\text{а}}\left(b - fr_{\text{д}}\right) - fG_{\text{пр}}h_{\text{с}}}{G_{\text{а}}h_g + G_{\text{пр}}h_{\text{с}}}\right]; \tag{7.32}$$

– одиночного автомобиля

$$\alpha_{\text{опр}} = \text{arctg}\left(\frac{b - fr_{\text{д}}}{h_g}\right). \tag{7.33}$$

Наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению задних ведущих колёс с опорной поверхностью (буксованию ведущих колёс):

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\varphi 2} = \text{arctg}\left\{\frac{G_{\text{а}}[\varphi_x\left(a + fr_{\text{д}}\right) - fL] - fG_{\text{пр}}\left(L - \varphi_x h_{\text{с}}\right)}{G_{\text{а}}\left(L - \varphi_x h_g\right) + G_{\text{пр}}\left(L - \varphi_x h_{\text{с}}\right)}\right\}; \tag{7.34}$$

– одиночного автомобиля

$$\alpha_{\varphi 2} = \text{arctg}\left[\frac{\varphi_x\left(a + fr_{\text{д}}\right) - fL}{L - \varphi_x h_g}\right]. \tag{7.35}$$

Наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению передних ведущих колёс с опорной поверхностью (буксованию ведущих колёс):

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\varphi 1} = \mathrm{arctg}\left\{\frac{G_{\text{а}}[\varphi_x(b - fr_{\text{д}}) - fL] - fG_{\text{пр}}(L + \varphi_x h_{\text{с}})}{G_{\text{а}}(L + \varphi_x h_g) + G_{\text{пр}}(L + \varphi_x h_{\text{с}})}\right\}; \qquad (7.36)$$

– одиночного автомобиля

$$\alpha_{\varphi 1} = \mathrm{arctg}\left[\frac{\varphi_x(b - fr_{\text{д}}) - fL}{L + \varphi_x h_g}\right]. \qquad (7.37)$$

Наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению всех ведущих колёс с опорной поверхностью (буксованию ведущих колёс) при блокированном приводе ведущих осей:

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\varphi} = \mathrm{arctg}\left[\frac{(\varphi_x - f)G_{\text{а}} - fG_{\text{пр}}}{G_{\text{а}} + G_{\text{пр}}}\right]; \qquad (7.38)$$

– одиночного автомобиля

$$\alpha_{\varphi} = \mathrm{arctg}(\varphi_x - f). \qquad (7.39)$$

Наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению всех ведущих колёс с опорной поверхностью (буксованию ведущих колёс) при дифференциальном приводе ведущих осей:

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\varphi} = \mathrm{arctg}\left\{\frac{G_{\text{а}}[\varphi_x(K+1)(b - fr_{\text{д}}) - fL] - fG_{\text{пр}}[L + \varphi_x(K+1)h_{\text{с}}]}{G_{\text{а}}[L + \varphi_x(K+1)h_g] + G_{\text{пр}}[L + \varphi_x(K+1)h_{\text{с}}]}\right\}; \qquad (7.40)$$

– одиночного автомобиля

$$\alpha_{\varphi} = \mathrm{arctg}\left[\frac{\varphi_x(K+1)(b - fr_{\text{д}}) - fL}{L + \varphi_x(K+1)h_g}\right], \qquad (7.41)$$

где $G_{\text{а}}$ и $G_{\text{пр}}$ – веса тягача и прицепа соответственно, Н; a и b – расстояния от центра масс тягача до передней и задней осей соответственно, м; h_g и $h_{\text{с}}$ – расстояния от центра масс тягача и сцепного устройства прицепа до опорной поверхности дороги соответственно, м; f – коэффициент со-

противления качению колёс; $r_д$ – динамический радиус колёс тягача, м; φ_x – коэффициент продольного сцепления ведущих колёс тягача; L – база тягача, м; K – коэффициент несимметричности межосевого дифференциала тягача.

5. Аэродинамическая устойчивость автомобиля

Боковая аэродинамическая сила (Н)

$$F_{wy} = 0{,}5 c_y \rho_в A_в V_w^2; \tag{7.42}$$

поворачивающий аэродинамический момент (Н·м)

$$T_{wz} = 0{,}5 m_z \rho_в A_в B V_w^2; \tag{7.43}$$

расстояние от центра масс до бокового метацентра (м)

$$l_м = \frac{m_z B}{c_y}, \tag{7.44}$$

где c_y – коэффициент боковой аэродинамической силы; m_z – коэффициент поворачивающего аэродинамического момента; B – колея автомобиля, м; $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м^3; $A_в$ – лобовая площадь автомобиля, м^2; V_w – скорость движения автомобиля относительно воздушной среды, м/с.

Примеры решения типовых задач

Пример 7.1. Автокран движется прямолинейно по косогору. Колея автокрана 1,8 м; высота центра масс 2,4 м; коэффициент поперечного сцепления 0,5. Определить критические углы косогора по боковому опрокидыванию и боковому скольжению. На сколько процентов следует изменить высоту центра масс автокрана, чтобы критический угол косогора по боковому опрокидыванию был равен критическому углу косогора по боковому скольжению.

Дано: B = 1,8 м; h_g = 2,4 м; φ_y = 0,5; $\beta'_{опр} = \beta_\varphi$.

Определить: $\beta_{опр}$; β_φ; Δh_g.

Решение: Критические углы косогора:

– по боковому опрокидыванию

$$\beta_{опр} = \mathrm{arctg}\left(\frac{B}{2h_g}\right) = \mathrm{arctg}\left(\frac{1{,}8}{2 \cdot 2{,}4}\right) = 20°33';$$

– по боковому скольжению

$$\beta_\varphi = \text{arctg}\ \varphi_y = \text{arctg}\ 0{,}5 = 26°34'.$$

При $\beta_{\text{опр}} = \beta_\varphi \ \dfrac{B}{2h'_g} = \varphi_y$, откуда $h'_g = \dfrac{B}{2\varphi_y} = \dfrac{1{,}8}{2 \cdot 0{,}5} = 1{,}8$ м.

Изменение высоты центра масс

$$\Delta h_g = \frac{h_g - h'_g}{h_g} 100 = \frac{2{,}4 - 1{,}8}{2{,}4} 100 = 25\,\%.$$

Ответ: $\beta_{\text{опр}} = 20°33'$; $\beta_\varphi = 26°34'$; центр масс понизить на 25%.

Пример 7.2. Грузовой автомобиль движется прямолинейно на косогоре с углом 30°. Масса автомобиля 5600 кг; подрессоренная масса 5000 кг; высота центра масс автомобиля 1,36 м; колея 1,8 м; плечо крена подрессоренной массы 0,65 м; угловая жёсткость подвески 270 кН·м/рад. Определить возможность бокового опрокидывания автомобиля.

Дано: $\beta = 30°$; $m_а = 5600$ кг; $m_п = 5000$ кг; $h_g = 1{,}36$ м; $B = 1{,}8$ м; $h_\lambda = 0{,}65$ м; $c_\lambda = 270$ кН·м/рад.

Определить: возможность бокового опрокидывания автомобиля.

Решение: Опрокидывающий момент

$$T_{\text{опр}} = m_а g h_g \sin\alpha = 5600 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}36 \sin 30° = 37356 \text{ Н·м}.$$

Угол крена подрессоренной массы

$$\lambda = \frac{m_п g h_\lambda \sin\beta}{c_\lambda - m_п g h_\lambda \cos\beta} = \frac{5000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}65 \sin 30°}{270 \cdot 10^3 - 5000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}65 \cos 30°} = 0{,}0658 \text{ рад}.$$

Восстанавливающий момент

$$T_в = \frac{m_а g B \cos\beta}{2} - m_п g h_\lambda \lambda \cos\beta = \frac{5600 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}8 \cos 30°}{2} -$$
$$- 5000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}0658 \cos 30° = 41000 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Возможность бокового опрокидывания

37356 Н·м < 41000 Н·м; $T_{\text{опр}} < T_в$ – опрокидывание невозможно.

Ответ: боковое опрокидывание невозможно.

Пример 7.3. Легковой автомобиль совершает поворот со скоростью 75 км/ч на горизонтальном участке дороги. Колея автомобиля 1,21 м; высота центра масс 0,58 м; коэффициент поперечного сцепления 0,6. Опре-

делить минимальные радиусы поворота без потери устойчивости по боковому опрокидыванию и боковому скольжению.

Дано: $V_а$ = 75 км/ч; B = 1,21 м; h_g = 0,58 м; φ_y = 0,6.

Определить: $R_{опр}$; R_φ.

Решение: Минимальные радиусы поворота:

– по боковому опрокидыванию

$$R_{опр} = \frac{2h_g V^2}{gB} = \frac{2 \cdot 0{,}58 \cdot 75^2}{3{,}6^2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}21} = 42{,}4 \text{ м};$$

– по боковому скольжению

$$R_\varphi = \frac{V^2}{\varphi_y g} = \frac{75^2}{3{,}6^2 \cdot 0{,}6 \cdot 9{,}81} = 73{,}7 \text{ м}.$$

Ответ: $R_{опр}$ = 42,4 м; R_φ = 73,7 м.

Пример 7.4. Грузовой автомобиль совершает поворот радиусом 30 м на горизонтальной дороге. Подрессоренная масса 4700 кг; колея автомобиля 1,75 м; высота центра подрессоренных масс автомобиля 1,45 м; плечо крена подрессоренной массы 0,6 м; угловая жёсткость подвески 260 кН·м/рад. Определить критическую скорость установившегося криволинейного движения по боковому опрокидыванию автомобиля.

Дано: R = 30 м; $m_п$ = 4700 кг; B = 1,75 м; $h_п$ = 1,45 м; h_λ = 0,6 м; c_λ = 260 кН·м/рад.

Определить: $V_{а.опр}$.

Решение: Критическая скорость установившегося криволинейного движения по боковому опрокидыванию автомобиля

$$V_{а.опр} = 3{,}6\sqrt{\frac{gRB}{2\left(h_п + \dfrac{m_п g h_\lambda^2}{c_\lambda - m_п g h_\lambda}\right)}} = 3{,}6\sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 30 \cdot 1{,}75}{2\left(1{,}45 + \dfrac{4700 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}6^2}{260 \cdot 10^3 - 4700 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}6}\right)}} =$$

$$= 45 \text{ км / ч}.$$

Ответ: $V_{а.опр}$ = 45 км/ч.

Пример 7.5. Автомобиль движется на вираже с поперечным уклоном 4% и радиусом 100 м. Колея автомобиля 1,44 м; высота центра масс 0,83 м; коэффициент поперечного сцепления колёс с дорогой 0,6. Определить предельную скорость движения автомобиля, при которой он сохраняет поперечную устойчивость.

Дано: i = 4%; R = 100 м; B = 1,44 м; h_g = 0,83 м; φ_y = 0,6.

Определить: $V_{а\,max}$.

Решение: Критические скорости движения автомобиля:
– по боковому опрокидыванию

$$V_{\text{а.опр}} = 3{,}6\sqrt{gR\left(\frac{B + 2h_g \text{tg}\beta}{2h_g - B\text{tg}\beta}\right)} = 3{,}6\sqrt{9{,}81 \cdot 100\left(\frac{1{,}44 + 2 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}04}{2 \cdot 0{,}83 - 1{,}44 \cdot 0{,}04}\right)} =$$

$= 109$ км / ч.

– по боковому скольжению

$$V_{\text{а}\varphi} = 3{,}6\sqrt{gR\left(\frac{\varphi_y + \text{tg}\beta}{1 - \varphi_y \text{tg}\beta}\right)} = 3{,}6\sqrt{9{,}81 \cdot 100\left(\frac{0{,}6 + 0{,}04}{1 - 0{,}6 \cdot 0{,}04}\right)} = 91{,}3 \text{ км/ч.}$$

91,3 км/ч < 109 км/ч, $V_{\text{а}\varphi} < V_{\text{а.опр}}$ и $V_{\text{а max}} < V_{\text{а}\varphi}$,

то есть $V_{\text{а max}} < 91{,}3$ км/ч.

Ответ: $V_{\text{а max}}$ меньше 91,3 км/ч.

Пример 7.6. Колесо, нагруженное нормальной силой 10 кН, катится по опорной поверхности с коэффициентом сцепления 0,7. Найти предельную по сцеплению величину боковой реакции, действующей на колесо, если она: а) в 2 раза больше продольной реакции; б) в 2 раза меньше продольной реакции.

Дано: F_z = 10 кН; φ = 0,7; а) $R_{y1} = 2R_x$; б) $R_{y2} = 0{,}5R_x$.

Определить: а) R_{y1}; б) R_{y2}.

Решение: Нормальная реакция, действующая на колесо, $R_z = F_z$ = 10 кН. Предельная по сцеплению величина боковой реакции

$$R_y = \sqrt{(\varphi R_z)^2 - R_x^2};$$

а) $R_x = 0{,}5R_{y1}$; $R_{y1} = \sqrt{(\varphi R_z)^2 - (0{,}5R_{y1})^2}$, откуда

$$R_{y1} = \frac{2\varphi R_z}{\sqrt{5}} = \frac{2 \cdot 0{,}7 \cdot 10}{2{,}236} = 6{,}26 \text{ кН;}$$

б) $R_x = 2R_{y2}$; $R_{y2} = \sqrt{(\varphi R_z)^2 - (2R_{y2})^2}$, откуда

$$R_{y2} = \frac{\varphi R_z}{\sqrt{5}} = \frac{0{,}7 \cdot 10}{2{,}236} = 3{,}13 \text{ кН.}$$

Ответ: а) $R_{y1} = 6{,}26$ кН; б) $R_{y2} = 3{,}13$ кН.

Пример 7.7. Определить возможность движения грузового автомобиля со скоростью 36 км/ч без бокового скольжения колёс задней ведущей

оси на повороте радиусом 30 м. Масса автомобиля 14,225 т; база 3,85 м; расстояние от центра масс до передней оси 2,74 м; коэффициент сцепления 0,6; продольная реакция, действующая на задние колёса, 5 кН.

Дано: $V_а$ = 36 км/ч; $m_а$ = 14,225 т; L = 3,85 м; a = 2,74 м; φ = 0,6; ΣR_{x2} = 5 кН.

Определить: возможность движения.

Решение: Условие возможности движения автомобиля без бокового скольжения задних ведущих колёс

$$\Sigma R_{y2}^2 \le (\varphi \Sigma R_{z2})^2 - \Sigma R_{x2}^2.$$

Суммарные реакции, действующие на задние колёса:

– боковые

$$\Sigma R_{y2} = \frac{m_{а2} V^2}{R} = \frac{m_а a V^2}{LR};$$

– нормальные

$$\Sigma R_{z2} = G_{а2} = \frac{m_а g a}{L}.$$

Условие возможности движения автомобиля в развёрнутом виде

$$\Sigma R_{x2}^2 \le \left(\frac{\varphi m_а g a}{L}\right)^2 - \left(\frac{m_а a V^2}{LR}\right)^2;\ \Sigma R_{x2} \le \frac{m_а a}{L}\sqrt{\varphi^2 g^2 - \left(\frac{V^2}{R}\right)^2};\ \Sigma R_{x2} = 5000\ \text{Н};$$

$$\frac{m_а a}{L}\sqrt{\varphi^2 g^2 - \left(\frac{V^2}{R}\right)^2} = \frac{14225 \cdot 2{,}74}{3{,}85}\sqrt{0{,}6^2 \cdot 9{,}81^2 - \left(\frac{36^2}{3{,}6^2 \cdot 30}\right)^2} = 49115\ \text{Н};$$

5000 Н < 49115 Н – движение возможно.

Ответ: движение возможно.

Пример 7.8. Автопоезд в составе тягача массой 8250 кг и прицепа массой 6100 кг движется с установившейся скоростью на подъёме. Высота центра масс тягача 1,2 м; расстояние от центра масс тягача до задней оси 1,23 м; высота расположения тягово-сцепного устройства 0,95 м. Найти предельные углы подъёмов, которые могут преодолеть автопоезд и тягач без прицепа без отрыва передних колёс тягача от поверхности дороги. Сопротивлениями качению колёс и воздуха пренебречь.

Дано: $m_а$ = 8250 т; $m_{пр}$ = 6100 кг; V = const; h_g = 1,2 м; b = 1,23 м; $h_с$ = 0,95 м; $F_f = F_в = 0$.

Определить: $\alpha_{опр.ап}$; $\alpha_{опр}$.

Решение: Предельные углы подъёмов по опрокидыванию:

– тягача автопоезда

$$\alpha_{\text{опр.ап}} = \text{arctg}\left(\frac{G_{\text{а}} b}{G_{\text{а}} h_g + G_{\text{пр}} h_{\text{с}}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{m_{\text{а}} b}{m_{\text{а}} h_g + m_{\text{пр}} h_{\text{с}}}\right) =$$

$$= \text{arctg}\left(\frac{8250 \cdot 1{,}23}{8250 \cdot 1{,}2 + 6100 \cdot 0{,}95}\right) = \text{arctg}\,0{,}647 = 32°53';$$

– тягача без прицепа

$$\alpha_{\text{опр}} = \text{arctg}\left(\frac{b}{h_g}\right) = \text{arctg}\left(\frac{1{,}23}{1{,}2}\right) = \text{arctg}\,1{,}025 = 45°42'.$$

Ответ: $\alpha_{\text{опр.ап}} = 32°53'$; $\alpha_{\text{опр}} = 45°42'$.

Пример 7.9. Легковой автомобиль движется с постоянной скоростью на подъёме. База автомобиля 2,58 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,29 м; высота центра масс 0,54 м; динамический радиус колёс 0,26 м; коэффициент продольного сцепления 0,6; коэффициент сопротивления качению 0,015. Определить наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению ведущих колёс с опорной поверхностью для двух компоновочных схем: а) ведущие колёса передние; б) ведущие колёса задние.

Дано: V = const; L = 2,58 м; a = 1,29 м; h_g = 1,2 м; $r_{\text{д}}$ = 0,26 м; φ_x = 0,6; f = 0,015; а) передние колёса ведущие; б) задние колёса ведущие.

Определить: а) $\alpha_{\varphi 1}$; б) $\alpha_{\varphi 2}$.

Решение: Наибольшие углы преодолеваемого подъёма по сцеплению:

– передних ведущих колёс

$$\alpha_{\varphi 1} = \text{arctg}\left[\frac{\varphi_x\left(b - f r_{\text{д}}\right) - fL}{L + \varphi_x h_g}\right] =$$

$$= \text{arctg}\left[\frac{0{,}6\left(2{,}58 - 1{,}29 - 0{,}015 \cdot 0{,}26\right) - 0{,}015 \cdot 2{,}58}{2{,}58 + 0{,}6 \cdot 0{,}54}\right] = \text{arctg}\,0{,}252 = 15°44';$$

– задних ведущих колёс

$$\alpha_{\varphi 2} = \text{arctg}\left[\frac{\varphi_x\left(a + f r_{\text{д}}\right) - fL}{L - \varphi_x h_g}\right] =$$

$$= \text{arctg}\left[\frac{0{,}6\left(1{,}29 + 0{,}015 \cdot 0{,}26\right) - 0{,}015 \cdot 2{,}58}{2{,}58 - 0{,}6 \cdot 0{,}54}\right] = \text{arctg}\,0{,}327 = 22°7'.$$

Ответ: а) $\alpha_{\varphi 1} = 15°44'$; б) $\alpha_{\varphi 2} = 22°7'$.

Пример 7.10. Автобус движется прямолинейно под действием бокового ветра. База автобуса 3,6 м; расстояние от бокового метацентра до передней оси 2,4 м; коэффициент сопротивления уводу передней оси 176 кН/рад. Определить коэффициент сопротивления уводу задней оси, при котором автобус сохраняет прямолинейное движение.

Дано: $L = 3{,}6$ м; $a_w = 2{,}4$ м; $k_{y1} = 176$ кН/рад; $\delta_1 = \delta_2$.

Определить: k_{y2}.

Решение: Составляющие силы бокового ветра, действующие на переднюю и заднюю оси автобуса,

$$F_{wy1} = \frac{F_{wy} b_w}{L}; \; F_{wy2} = \frac{F_{wy} a_w}{L}.$$

Углы увода передней и задней осей

$$\delta_1 = \frac{F_{wy1}}{k_{y1}} = \frac{F_{wy} b_w}{k_{y1} L}; \; \delta_2 = \frac{F_{wy2}}{k_{y2}} = \frac{F_{wy} a_w}{k_{y2} L}.$$

При прямолинейном движении автобуса

$$\delta_1 = \delta_2; \; \frac{F_{wy} b_w}{k_{y1} L} = \frac{F_{wy} a_w}{k_{y2} L}, \text{ откуда } k_{y2} = \frac{k_{y1} a_w}{b_w} = \frac{1{,}76 \cdot 2{,}4}{3{,}6 - 2{,}4} = 352 \text{ кН/рад.}$$

Ответ: $k_{y2} = 352$ кН/рад.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 7.1. Масса легкового автомобиля 1127 кг; расстояния от центра масс до передней и задней осей 1,13 м и 1,19 м соответственно; коэффициент сопротивления уводу передней оси 45,2 кН/рад. Подобрать коэффициент сопротивления уводу задней оси с таким расчётом, чтобы критическая скорость по курсовой и траекторной устойчивости была больше максимальной, равной 145 км/ч.

Задача 7.2. У легкового автомобиля полной массой 1850 кг база 2,8 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,46 м; коэффициенты сопротивления уводу шин передних и задних колёс 46 кН/рад и 33 кН/рад соответственно. Определить критическую скорость по курсовой и траекторной устойчивости автомобиля.

Задача 7.3. Автобус движется при постоянном угле поворота рулевого колеса 70° со скоростью 40 км/ч по окружности радиусом 68 м и со скоростью 80 км/ч по окружности радиусом 29 м; передаточное число ру-

левого управления 23,5. Определить критическую по условию увода скорость автомобиля.

Задача 7.4. Масса двухосного полноприводного грузового автомобиля 5770 кг; база 3,3 м; расстояние от центра масс до оси задних колёс 1,55 м; шины 12.00 – 18; давление воздуха в шинах 0,3 МПа. Найти критическую скорость по курсовой и траекторной устойчивости автомобиля.

Задача 7.5. Используя условие задачи 7.4, определить, каким образом надо изменить давление воздуха в шинах, чтобы увеличить критическую скорость по курсовой и траекторной устойчивости на 15%.

Задача 7.6. У легкового автомобиля на переднюю и заднюю оси приходится 670 кг и 775 кг соответственно; база 2,4 м. При боковом ускорении 0,1 g угол увода задней оси 0,6°. Рассчитать величину коэффициента сопротивления уводу передней оси, при которой запас курсовой устойчивости автомобиля имеет положительное значение.

Задача 7.7. У грузового автомобиля колея 1,82 м; высота центра масс 1,2 м; коэффициент поперечного сцепления 0,7. Определить возможность прямолинейного движения автомобиля на косогоре с углом 30° без бокового опрокидывания и бокового скольжения.

Задача 7.8. Грузовой автомобиль движется прямолинейно на косогоре. Колея автомобиля 2,1 м; высота центра масс 1,5 м. Определить критический угол косогора по боковому опрокидыванию. На сколько метров следует изменить колею и высоту центра масс автомобиля в отдельности, чтобы обеспечить возможность его устойчивого движения на косогоре с углом 40°.

Задача 7.9. Автобус, имеющий колею 1,8 м и высоту центра масс 1,3 м, движется прямолинейно на косогоре. Коэффициент поперечного сцепления колёс с опорной поверхностью 0,7. Определить возможность движения автобуса на косогоре с углом 30° без бокового опрокидывания и бокового скольжения.

Задача 7.10. Легковой автомобиль с пассажирами движется прямолинейно на косогоре. Колея автомобиля 1,43 м; высота центра масс 0,715 м. Определить критический угол косогора по боковому опрокидыванию. Во сколько раз увеличится этот угол при движении автомобиля без пассажиров, когда высота центра масс уменьшится на 20%.

Задача 7.11. Для легкового автомобиля, имеющего колею 1,445 м и высоту центра масс 0,714 м, определить критические углы косогора по боковому опрокидыванию и боковому скольжению на сухой и мокрой асфальтобетонной дороге с коэффициентами поперечного сцепления 0,7 и 0,45 соответственно. На сколько процентов критический угол косогора по боковому опрокидыванию отличается от критических углов косогора по боковому скольжению на сухой и мокрой дороге?

Задача 7.12. Грузовой автомобиль движется прямолинейно на косогоре с углом 31°. Масса автомобиля 5200 кг; подрессоренная масса 4600 кг; высота центра масс автомобиля 1,4 м; колея 1,7 м; угловая жёсткость подвески 260 кН·м/рад; плечо крена подрессоренной массы 0,6 м. Определить возможность бокового опрокидывания автомобиля. Как повлияет блокировка подвески на поперечную устойчивость автомобиля по боковому опрокидыванию?

Задача 7.13. Легковой автомобиль движется прямолинейно на косогоре. Подрессоренная масса автомобиля 1070 кг; колея 1,38 м; высота центра и плечо крена подрессоренной массы 0,61 м и 0,5 м соответственно. Подобрать угловую жёсткость подвески из условия движения без бокового опрокидывания на косогоре с углом 42°.

Задача 7.14. Автомобиль-фургон совершает поворот радиусом 75 м с постоянной скоростью. Колея автомобиля 1,65 м; высота центра масс 2,2 м; коэффициент поперечного сцепления 0,7. Определить критические по боковому опрокидыванию и боковому скольжению скорости движения автомобиля и найти, при каком значении коэффициента поперечного сцепления эти скорости равны.

Задача 7.15. Грузовой автомобиль совершает поворот на горизонтальной дороге радиусом 30 м. Колея автомобиля 1,64 м; высота центра масс 0,96 м. Определить критическую скорость движения автомобиля по боковому опрокидыванию и рассчитать, на сколько процентов изменится её величина при движении на повороте с вдвое большим радиусом.

Задача 7.16. Грузовой автомобиль движется на повороте радиусом 30 м горизонтальной дороги с постоянной скоростью. Колея автомобиля 1,75 м. Определить, на сколько процентов отличается критическая скорость по боковому опрокидыванию гружёного и негружёного автомобиля. Высота центра масс автомобиля в снаряжённом состоянии 0,97 м; у автомобиля с полной нагрузкой она увеличивается на 0,4 м.

Задача 7.17. Грузовой автомобиль движется на повороте горизонтальной дороги со скоростью 80 км/ч. Колея автомобиля 2,03 м; высота центра масс 1,6 м. Определить критический радиус поворота автомобиля по боковому опрокидыванию и найти величину коэффициента, поперечного сцепления, при которой произойдёт боковой занос автомобиля в процессе поворота с этим радиусом.

Задача 7.18. Грузовой автомобиль совершает поворот на горизонтальной дороге, характеризующейся коэффициентом поперечного сцепления 0,4. Колея автомобиля 1,72 м; высота центра масс 1,43 м. Определить возможность бокового опрокидывания автомобиля. Оценить, как следует изменить колею и высоту центра масс автомобиля в отдельности, чтобы автомобиль не опрокидывался на дороге с вдвое большим коэффициентом поперечного сцепления.

Задача 7.19. Легковой автомобиль движется по окружности радиусом 300 м на горизонтальном участке дороги с максимальной скоростью 142 км/ч. Высота центра масс автомобиля 0,65 м. Найти колею автомобиля из условия отсутствия бокового опрокидывания при движении по дороге с вдвое большим коэффициентом поперечного сцепления.

Задача 7.20. При движении грузового автомобиля по окружности радиусом 75 м на горизонтальной поверхности со скоростью 85 км/ч происходит его боковое опрокидывание. Колея автомобиля 2 м. Найти высоту центра масс автомобиля и определить величину коэффициента поперечного сцепления, при которой произойдёт боковой занос автомобиля в заданных условиях движения.

Задача 7.21. Грузовой автомобиль движется на горизонтальной поверхности дороги по круговой траектории радиусом 85 м. Колея автомобиля 1,8 м; высота центра масс 1,2 м. Определить критическую скорость по боковому опрокидыванию автомобиля и оценить, на сколько процентов изменится критическая скорость при перевозке груза меньшей плотности, когда расстояние от центра масс до опорной поверхности дороги увеличится в 1,3 раза.

Задача 7.22. Автобус совершает поворот на горизонтальной дороге со скоростью 60 км/ч. Колея автобуса 1,76 м; высота центра масс 1,17 м. Определить критический радиус поворота по боковому опрокидыванию автобуса. Во сколько раз отличается критический радиус поворота по боковому скольжению при коэффициенте поперечного сцепления 0,5 от критического радиуса поворота по боковому опрокидыванию?

Задача 7.23. Легковой автомобиль совершает поворот радиусом 70 м на горизонтальной дороге. Подрессоренная масса автомобиля 1050 кг; колея 1,38 м; высота центра подрессоренной массы 0,667 м; плечо крена подрессоренной массы 0,503 м; угловая жёсткость подвески 42,84 кН·м/рад. Определить критическую скорость автомобиля по боковому опрокидыванию. На сколько процентов изменится эта скорость при заблокированной подвеске автомобиля? Высота центра масс автомобиля 0,61 м.

Задача 7.24. Используя условие задачи 7.23, определить, на сколько процентов изменится критическая скорость по боковому опрокидыванию автомобиля, если при замене задней зависимой подвески на независимую её угловая жёсткость возросла до 20,31 кН·м/рад; угловая жёсткость передней подвески 31,59 кН·м/рад.

Задача 7.25. Легковой автомобиль движется на вираже радиусом 60 м и углом 20°. Колея автомобиля 1,22 м; высота центра масс 0,63 м. Определить критическую скорость движения по боковому опрокидыванию автомобиля и угол виража, при котором опрокидывание автомобиля невозможно при любой скорости движения.

Задача 7.26. Легковой автомобиль движется на вираже с углом 4° со скоростью 144 км/ч. Коэффициент поперечного сцепления 0,7. Определить критический радиус виража по боковому скольжению и рассчитать, во сколько раз изменится этот радиус при движении на дороге с коэффициентом поперечного сцепления 0,35.

Задача 7.27. Грузовой автомобиль движется на вираже радиусом 50 м со скоростью 68 км/ч. Колея автомобиля 1,9 м; высота центра масс 1,6 м; коэффициент поперечного сцепления 0,6. Определить угол поперечного уклона виража, при котором возможно устойчивое (без бокового опрокидывания и бокового скольжения) движение автомобиля.

Задача 7.28. Автомобиль совершает поворот радиусом 600 м на горизонтальном участке дороги. Определить угол поперечного уклона виража радиусом 300 м, при движении по которому критическая скорость автомобиля по боковому скольжению равна критической скорости по боковому скольжению на горизонтальной дороге. Коэффициент поперечного сцепления в обоих случаях движения 0,7.

Задача 7.29. Автобус движется на вираже радиусом 35 м и углом 7°. Колея автобуса 2 м; коэффициент поперечной устойчивости 0,6. Определить критическую скорость движения автобуса по боковому опрокидыванию и рассчитать, во сколько раз следует увеличить угол виража, чтобы эта критическая скорость возросла на 20%.

Задача 7.30. Автомобиль движется на вираже радиусом 50 м и положительным углом 10°. Колея автомобиля 1,8 м; коэффициент поперечной устойчивости 0,9. Определить критическую скорость движения автомобиля по боковому опрокидыванию и оценить, на сколько процентов изменится эта скорость при движении на вираже с отрицательным углом 10°.

Задача 7.31. Автомобильное колесо катится по опорной поверхности, имеющей коэффициент сцепления 0,4. Рассчитать отношение предельных по сцеплению значений боковых реакций, когда колесо работает: а) в ведомом режиме с коэффициентом сопротивления качению 0,1; б) в ведущем режиме с коэффициентом продольной силы 0,2; в) в тормозном режиме с коэффициентом продольной силы 0,3.

Задача 7.32. На ведущую ось легкового автомобиля приходится масса 785 кг. Автомобиль движется по дороге с коэффициентом сцепления 0,8. Определить предельные по сцеплению величины суммарных боковых реакций, действующих на ведущие колёса, если они: а) в 1,5 раза больше суммарных продольных реакций; б) на 25% меньше суммарных продольных реакций.

Задача 7.33. Переднеприводный легковой автомобиль движется прямолинейно на косогоре с постоянной скоростью. Масса автомобиля

1340 кг; база 2,46 м; расстояние от центра масс до задней оси 1,24 м; коэффициент сцепления 0,7; тяговая сила на ведущих колёсах 1,5 кН; сопротивлением качению колёс пренебречь. Определить критический угол косогора по боковому заносу передних колёс.

Задача 7.34. Грузовой автомобиль совершает поворот радиусом 80 м на горизонтальной дороге с максимальной скоростью 85 км/ч. Полная масса автомобиля 16 т; база 3,95 м; расстояние от центра масс до передней оси 2,47 м; коэффициент сцепления 0,8; тяговая сила на задних ведущих колёсах 5 кН. Определить возможность поворота без бокового скольжения задних колёс. Сопротивлением качению колёс пренебречь.

Задача 7.35. Автобус совершает поворот на горизонтальном участке дороги с максимальной скоростью 113 км/ч. Масса автобуса 13,25 т; база 4,9 м; расстояние от центра масс до передней оси 3,23 м; коэффициент сцепления 0,6; суммарная продольная реакция, действующая на ведущие колёса, 8 кН. Найти минимальный радиус поворота автобуса, при котором он может двигаться без бокового скольжения задних ведущих колёс.

Задача 7.36. Легковой переднеприводный автомобиль совершает поворот на горизонтальной дороге радиусом 150 м. Масса автомобиля 1455 кг, в том числе на переднюю ось 54%; фактор обтекаемости 0,418 $Н·с^2/м^2$; коэффициент сцепления 0,5; коэффициент сопротивления качению 0,025. Определить критические скорости по боковому скольжению передних и задних колёс.

Задача 7.37. Автобус при повороте радиусом 100 м тормозит с замедлением 5 $м/с^2$. Масса автобуса 2625 кг, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 1415 кг; база 2,7 м; высота центра масс 0,83 м; коэффициент сцепления 0,6. Тормозная система обеспечивает оптимальное распределение тормозных сил между осями автобуса. Определить критические скорости по боковому заносу передних и задних колёс автобуса.

Задача 7.38. Легковой автомобиля при прямолинейном движении производит торможение на дороге с коэффициентом сцепления 0,45. Координаты центра масс автомобиля: расстояния от центра масс до передней и задней осей 1,07 м и 1, 11 м соответственно; высота над опорной поверхностью дороги 0,5 м. Тормозные силы на передних и задних колёсах одинаковые. Определить замедление автомобиля при торможении, при котором возможно боковое скольжение задних колёс под действием боковой силы любой величины.

Задача 7.39. Переднеприводный легковой автомобиль при прямолинейном движении разгоняется с ускорением 2 $м/с^2$. Масса автомобиля 1325 кг; база 2,46 м; расстояния от центра масс до задней оси и опорной поверхности дороги 1,24 м и 0,6 м соответственно; статический радиус колёс 0,265 м; коэффициент сцепления 0,8; максимальный крутящий мо-

мент двигателя 89,7 Н·м; передаточные числа: коробки передач 3,636, главной передачи 3,94; КПД трансмиссии 0,92. Определить боковую силу, которая вызовет боковое скольжение передних ведущих колёс. Силами сопротивления качению и воздуха и моментом на разгон ведущих колёс пренебречь.

Задача 7.40. Двухосный автомобиль с колёсной формулой 4×4 движется на подъёме. Массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси, 2715 кг и 3055 кг соответственно; база 3,3 м; высота центра масс 1,15 м; шины тороидные 12,00 – 18; коэффициент нормальной деформации шин 0,9; коэффициент сопротивления качению 0,3. Определить возможность преодоления автомобилем подъёма с углом 30° без опрокидывания назад.

Задача 7.41. Двухосный грузовой автомобиль – самосвал движется на подъёме, поверхность которого имеет коэффициент продольного сцепления 0,35 и коэффициент сопротивления качению 0,1. Масса автомобиля 15050 кг; расстояния от центра масс до передней и задней осей 2,36 м и 1,44 м соответственно; высота центра масс 1,33 м; шины 10,00R20; коэффициент нормальной деформации шин 0,92. Определить наибольший угол преодолеваемого подъёма по сцеплению задних ведущих колёс с опорной поверхностью и найти, во сколько раз изменится этот угол, если автомобиль будет преодолевать подъём, поверхность которого имеет коэффициент продольного сцепления 0,75 и коэффициент сопротивления качению 0,011.

Задача 7.42. Переднеприводный легковой автомобиль движется на подъёме. Масса автомобиля 1340 кг; база 2,46 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,23 м; высота центра масс 0,6 м; динамический радиус колёс 0,265 м; коэффициент продольного сцепления 0,8; коэффициент сопротивления качению 0,015. Определить наибольший угол преодолеваемого подъёма по сцеплению ведущих колёс с дорогой и оценить, во сколько раз изменится этот угол для автомобиля со всеми ведущими колёсами.

Задача 7.43. Двухосный неполноприводный грузовой автомобиль движется на подъёме, коэффициенты продольного сцепления и сопротивления качению которого 0,5 и 0,03 соответственно. Масса автомобиля 10400 кг, в том числе приходящаяся на заднюю ось, 7890 кг; база 3,8 м; высота центра масс 1,4 м; динамический радиус колёс 0,488 м. Определить наибольший угол преодолеваемого подъёма по сцеплению задних ведущих колёс с опорной поверхностью дороги и рассчитать, на сколько процентов изменится этот угол для автомобиля без груза, у которого расстояния от центра масс до передней оси и до опорной поверхности дороги 1,98 м и 0,9 м соответственно.

Задача 7.44. Трёхосный полноприводный тягач полной массой 15,205 т с прицепом полной массой 7 т движется на подъёме. База тягача 4 м; масса тягача, приходящаяся на переднюю ось, 5,02 т; высоты центра масс тягача

и сцепного устройства 1,6 м и 0,96 м соответственно; динамический радиус колёс 0,56 м. Коэффициент продольного сцепления 0,5; коэффициент сопротивления качению 0,025. Определить наибольшие углы преодолеваемого подъёма по опрокидыванию и сцеплению ведущих колёс с опорной поверхностью тягача и оценить, во сколько раз возрастут эти углы при движении на подъёме тягача без прицепа.

Задача 7.45. Автопоезд в составе тягача массой 7850 кг и прицепа массой 3500 кг движется с постоянной скоростью на подъёме. База тягача 3,7 м; массы тягача, приходящиеся на переднюю ось при полной нагрузке и в снаряженном состоянии, 1875 кг и 1435 кг соответственно; масса тягача в снаряжённом состоянии 3200 кг; высота центра масс тягача при полной нагрузке и в снаряжённом состоянии 1,2 м и 0,82 м соответственно; высота расположения тягово-сцепного устройства прицепа 0,915 м. Определить наибольшие углы преодолеваемого подъёма по опрокидыванию тягача при движении с прицепом и без прицепа, с полной нагрузкой и без нагрузки.

Задача 7.46. Двухосный неполноприводный грузовой автомобиль с задними ведущими колёсами полной массой 16 т с прицепом полной массой 12 т движется с установившейся скоростью на подъёме. Масса тягача, приходящаяся на переднюю ось, 6 т; база и высота центра масс тягача 3,95 м и 1,45 м соответственно; высота расположения тягово-сцепного устройства прицепа 0,88 м. Определить возможность движения автопоезда без опрокидывания и буксования ведущих колёс тягача на подъёме с углом 20° и коэффициентом продольного сцепления 0,7.

Задача 7.47. Переднеприводный легковой автомобиль полной массой 1127 кг с прицепом массой 200 кг движется с постоянно скоростью на подъёме. Масса, приходящаяся на переднюю ось автомобиля, 577 кг; база 2,32 м; высоты расположения центра масс автомобиля и тягово-сцепного устройства прицепа 0,5 м и 0,334 м соответственно; динамический радиус колёс 0,27 м; коэффициент продольного сцепления 0,75; коэффициент сопротивления качению 0,014. Определить возможность движения автомобиля с прицепом и без прицепа на подъёме 15° без буксования его передних колёс.

Задача 7.48. Легковой автомобиль полной массой 1850 кг с прицепом массой 500 кг движется с установившейся скоростью на подъёме с коэффициентом продольного сцепления 0,4 и коэффициентом сопротивления качению 0,15. Координаты центра масс автомобиля: расстояния от центра масс до передней оси, до задней оси и до опорной поверхности 1,46 м; 1,34 м и 0,714 м соответственно; высота сцепного устройства прицепа 0,4 м; динамический радиус колёс 0,295 м. Определить наибольшие углы преодолеваемого подъёма по опрокидыванию и буксованию задних

ведущих колёс автомобиля и оценить, на сколько процентов изменятся эти углы при движении автомобиля без прицепа.

Задача 7.49. Грузовой двухосный автомобиль движется под действием бокового ветра при нейтральном положении управляемых колёс. База автомобиля 3,7 м; шины 240R508; давление воздуха в шинах передних и задних колёс 0,45 МПа и 0,63 МПа соответственно; коэффициент коррекции, учитывающий влияние продольных реакций на задние сдвоенные ведущие колёса, 0,82. Определить координаты центра боковых реакций, при которых автомобиль сохранит прямолинейное движение.

Задача 7.50. Автобус движется при нейтральном положении управляемых колёс под действием бокового ветра. Массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автобуса, 5383 кг и 10334 кг; база 5,84 м; коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей 470 кН/рад и 770 кН/рад соответственно. Определить, на каком расстоянии от центра масс должен находиться боковой метацентр автобуса, чтобы сохранилось его прямолинейное движение.

8. ПЛАВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Характеристики системы подрессоривания

Приведённая упругая характеристика подвески. Приведённая жёсткость подвески (Н/м)

$$c_{\text{р}} = \frac{dF_{\text{р}}}{d\Delta_{\text{р}}}; \tag{8.1}$$

статический прогиб подвески (м)

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{р.ст}}}{c_{\text{р}}}; \tag{8.2}$$

коэффициент динамичности подвески

$$k_{\text{п}} = \frac{F_{\text{р}\max}}{F_{\text{р.ст}}}, \tag{8.3}$$

где $F_{\text{р}}$ – нормальная нагрузка подвески, Н; $\Delta_{\text{р}}$ – нормальная деформация подвески, м; $F_{\text{р.ст}}$ – нормальная нагрузка, соответствующая положению статического равновесия автомобиля, Н; $F_{\text{р}\max}$ – максимальная нормальная нагрузка, Н:

Упругая характеристика шины. Нормальная жёсткость шины (Н/м):

$$c_{\text{ш}} = \frac{dF_{\text{ш}}}{d\Delta_{\text{ш}}}; \tag{8.4}$$

статический прогиб шины (м)

$$\Delta_{\text{ш.ст}} = \frac{F_{\text{ш.ст}}}{c_{\text{ш}}}, \tag{8.5}$$

где $F_{\text{ш}}$ – нормальная нагрузка шины, Н; $\Delta_{\text{ш}}$ – нормальная деформация шины, м; $F_{\text{ш.ст}}$ – нормальная нагрузка, соответствующая положению статического равновесия автомобиля, Н.

Характеристика амортизатора. Сила сопротивления амортизатора (Н)

$$F_{\text{а}} = k_{\text{а}} \dot{\Delta}_{\text{р}}; \tag{8.6}$$

среднее значение коэффициента сопротивления амортизатора (Н·с/м)

$$k_{\text{а}} = \frac{k_{\text{а.сж}} + k_{\text{а.от}}}{2}, \tag{8.7}$$

где $\dot{\Delta}_{\text{р}}$ – скорость деформации подвески, м/с; $k_{\text{а.сж}}$ – коэффициент сопротивления амортизатора на ходе сжатия, Н·с/м; $k_{\text{а.от}}$ – коэффициент сопротивления амортизатора на ходе отбоя, Н·с/м.

Сила трения в шине (Н)

$$F_{\text{а.ш}} = k_{\text{ш}} \dot{\Delta}_{\text{ш}}, \tag{8.8}$$

где $k_{\text{ш}}$ – коэффициент демпфирования шины, Н·с/м; $\dot{\Delta}_{\text{ш}}$ – скорость нормальной деформации шины, м/с.

2. Геометрические характеристики опорной поверхности движения

Единичная неровность косинусоидального профиля. Вертикальная координата неровности (м):

$$q = q_0 \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{l} \right) \right] = q_0 [1 - \cos(\nu t)]; \tag{8.9}$$

частота возмущения (рад/с)

$$\nu = \frac{2\pi V}{l}; \tag{8.10}$$

вертикальная составляющая скорости движения автомобиля (м/с)

$$\dot{q} = q_0 \nu \sin(\nu t), \tag{8.11}$$

где q_0 – амплитуда высоты неровности, м; x – абсцисса неровности, м; l – длина неровности, м; V – скорость автомобиля, м/с.

Периодически чередующиеся неровности. Частоты возмущения:

– циклическая (Гц)

$$\lambda_{\text{ц}} = \frac{1}{l}; \tag{8.12}$$

– путевая (рад/с)

$$\lambda = 2\pi\lambda_{ц} = \frac{2\pi}{l}, \tag{8.13}$$

где l – длина неровности, м.

Случайный микропрофиль. Среднее значение или математическое ожидание ординат микропрофиля (м)

$$q_{ср} = m_q = \lim_{L\to\infty}\left(\frac{1}{L}\right)\int_0^L q(l)dl; \tag{8.14}$$

дисперсия ординат микропрофиля (м^2)

$$D_q = \sigma_q^2 = \lim_{L\to\infty}\left(\frac{1}{L}\right)\int_0^L q^2(l)dl; \tag{8.15}$$

среднее квадратическое отклонение ординат микропрофиля (м)

$$\sigma_q = \sqrt{D_q}; \tag{8.16}$$

корреляционная функция ординат микропрофиля по одной реализации (м^2)

$$R_q(l_S) = \lim_{L\to\infty}\left(\frac{1}{L}\right)\int_0^L q(l)q(l+l_S)dl; \tag{8.17}$$

нормированная корреляционная функция

$$R_q^n(l_S) = \frac{R_q(l_S)}{D_q}; \tag{8.18}$$

спектральная плотность распределения ординат микропрофиля (м^3)

$$S_q(\lambda) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty R_q(l_S)\cos(\lambda l_S)\,dl_S; \tag{8.19}$$

нормированная величина спектральной плотности

$$S_q^n(\lambda) = \frac{S_q(\lambda)}{D_q}. \tag{8.20}$$

В приведённых формулах (8.14)…(8.20) $q(l)$ – реализации случайной функции ординат микропрофиля в сечении l, м; L – длина участка

реализации ординат микропрофиля, м; l_S – корреляционное смещение, м; $q(l)$ и $q(l + l_S)$ – значения функции в начале и конце участка протяжённостью l_S соответственно, м; λ – путевая частота, рад/с.

3. Случайный процесс воздействия микропрофиля на автомобиль

Временное смещение (с)

$$\tau = \frac{l_S}{V}; \tag{8.21}$$

корреляционная функция процесса воздействия микропрофиля на автомобиль (м^2)

$$R_q(\tau) = R_q(l_S); \tag{8.22}$$

частота воздействия микропрофиля на автомобиль (рад/с)

$$\nu = \lambda V; \tag{8.23}$$

спектральная плотность воздействия микропрофиля на автомобиль (м^2·с)

$$S_q(\nu) = \frac{S_q(\lambda)}{V}, \tag{8.24}$$

где l_S – корреляционное смещение, м; V – скорость автомобиля, м/с; λ – путевая частота, рад/с.

Аппроксимирующие зависимости корреляционных функций и спектральных плотностей микропрофиля дорог с различными типами покрытий. Аналитические аппроксимации корреляционных функций ординат микропрофиля дорог (м^2):

$$R_q(l_S) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_{01}|l_S|} + A_2 e^{-\alpha_{02}|l_S|}\cos(\beta_{01}|l_s|) + A_2 e^{-\alpha_{03}|l_S|}\cos(\beta_{02}|l_s|)\right]; \tag{8.25}$$

$$R_q(l_S) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_{01}|l_S|}\cos(\beta_{01}|l_s|) + A_2 e^{-\alpha_{02}|l_S|}\cos(\beta_{02}|l_s|)\right]; \tag{8.26}$$

$$R_q(l_S) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_{01}|l_S|} + A_2 e^{-\alpha_{02}|l_S|}\cos(\beta_{01}|l_s|)\right]; \tag{8.27}$$

$$R_q(l_S) = D_q e^{-\alpha_{01}|l_S|}\cos(\beta_{01}|l_s|); \tag{8.28}$$

$$R_q(l_S) = D_q e^{-\alpha_{01}|l_S|}. \tag{8.29}$$

Аналитическая аппроксимация корреляционных функций воздействия ординат микропрофиля дорог на автомобиль (м^2):

– для функции (8.25)

$$R_q(\tau) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|}\cos(\beta_1|\tau|) + A_3 e^{-\alpha_3|\tau|}\cos(\beta_2|\tau|)\right]; \quad (8.30)$$

– для функции (8.26)

$$R_q(\tau) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_1|\tau|}\cos(\beta_1|\tau|) + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|}\cos(\beta_2|\tau|)\right]; \quad (8.31)$$

– для функции (8.27)

$$R_q(\tau) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|}\cos(\beta_1|\tau|)\right]; \quad (8.32)$$

– для функции (8.28)

$$R_q(\tau) = D_q e^{-\alpha_1|\tau|}\cos(\beta_1|\tau|); \quad (8.33)$$

– для функции (8.29)

$$R_q(\tau) = D_q e^{-\alpha_1|\tau|}, \quad (8.34)$$

где $\alpha_1 = V\alpha_{01}$; $\alpha_2 = V\alpha_{02}$; $\alpha_3 = V\alpha_{03}$; $\beta_1 = V\beta_{01}$; $\beta_2 = V\beta_{02}$, 1/с.

Аналитическая аппроксимация спектральных плотностей воздействия микропрофиля дорог на автомобиль (м^2·с):

– для функции (8.30)

$$S_q(\nu) = \frac{2D_q}{\pi}\left[\frac{\dfrac{A_1\alpha_1}{\nu^2+\alpha_1^2} + \dfrac{A_2\alpha_2}{\nu^2+\alpha_2^2+\beta_1^2}}{\left(\nu^2+\alpha_2^2-\beta_1^2\right)^2+4\alpha_2^2\beta_1^2} + \frac{A_3\alpha_3\left(\nu^2+\alpha_3^2+\beta_2^2\right)}{\left(\nu^2+\alpha_3^2-\beta_2^2\right)^2+4\alpha_3^2\beta_2^2}\right]; \quad (8.35)$$

– для функции (8.31)

$$S_q(\nu) = \frac{2D_q}{\pi}\left[\frac{A_1\alpha_1\left(\nu^2+\alpha_1^2+\beta_1^2\right)}{\left(\nu^2+\alpha_2^2-\beta_1^2\right)^2+4\alpha_1^2\beta_1^2} + \frac{A_2\alpha_2\left(\nu^2+\alpha_2^2+\beta_2^2\right)}{\left(\nu^2+\alpha_2^2-\beta_2^2\right)^2+4\alpha_2^2\beta_2^2}\right]; \quad (8.36)$$

– для функции (8.32)

$$S_q(\nu)=\frac{2D_q}{\pi}\left[\frac{A_1\alpha_1}{\nu^2+\alpha_1^2}+\frac{A_2\alpha_2\left(\nu^2+\alpha_2^2+\beta_1^2\right)}{\left(\nu^2+\alpha_2^2-\beta_1^2\right)^2+4\alpha_2^2\beta_1^2}\right]; \qquad (8.37)$$

– для функции (8.33)

$$S_q(\nu)=\frac{2D_q\alpha_1\left(\nu^2+\alpha_1^2+\beta_1^2\right)}{\pi\left[\left(\nu^2+\alpha_1^2-\beta_1^2\right)^2+4\alpha_1^2\beta_1^2\right]}; \qquad (8.38)$$

– для функции (8.34)

$$S_q(\nu)=\frac{2D_q\alpha_1}{\pi\left(\nu^2+\alpha_1^2\right)}. \qquad (8.39)$$

В формулах (8.25)…(8.39) l_S – корреляционное смещение, м; D_q – дисперсия ординат микропрофиля, м^2; A_1, A_2, A_3 – коэффициенты при слагаемых корреляционной функции; α_{01}, α_{02}, α_{03} – коэффициенты корреляционной связи, 1/м; β_{01}, β_{02} – коэффициенты, характеризующие периодическую составляющую микропрофиля, 1/м; τ – временное смещение, с; V – скорость автомобиля, м/с; ν – частота воздействия, рад/с.

4. Свободные колебания автомобиля

Свободные колебания подрессоренной массы автомобиля как одномассовой системы с одной степенью свободы без учёта сил сопротивления

Приведённая жёсткость подвесок:
– зависимой (Н/м)

$$c_{\text{пр}}=\frac{c_{\text{р}}c_{\text{ш}}}{c_{\text{р}}+c_{\text{ш}}}; \qquad (8.40)$$

– независимой (Н/м)

$$c_{\text{пр}}=\frac{l_n^2\bar{c}_{\text{р}}c_{\text{ш}}}{l_n^2\bar{c}_{\text{р}}+l_{\text{р}}^2c_{\text{ш}}}; \qquad (8.41)$$

– передаточное число подвески

$$u_{\text{п}} = \frac{l_{\text{р}}}{l_n}; \tag{8.42}$$

– жёсткость подвески, проведённая к колесу (Н/м),

$$c_{\text{р}} = \frac{\bar{c}_{\text{р}}}{u_{\text{п}}^2}; \tag{8.43}$$

– коэффициент сопротивления амортизатора, приведённый к колесу (Н·с/м),

$$k_{\text{а}} = \frac{\bar{k}_{\text{а}}}{u_{\text{п}}^2}, \tag{8.44}$$

где $c_{\text{р}}$ – жёсткость подвески, Н/м; $c_{\text{ш}}$ – жёсткость шин, Н/м; l_n – расстояние от точки крепления рычага до упругого элемента подвески, м; $l_{\text{р}}$ – расстояние от точки крепления рычага до центра контакта колеса с опорной поверхностью, м; $\bar{c}_{\text{р}}$ – жёсткость упругого элемента подвески, Н/м; $\bar{k}_{\text{а}}$ – коэффициент сопротивления амортизатора, Н·с/м.

Силы, действующие на подрессоренную массу (Н):

– сила инерции

$$F_a = -m_{\text{п}}\ddot{z}; \tag{8.45}$$

– упругая сила подвески

$$F_{\text{р}} = c_{\text{пр}}\left(\Delta_{\text{ст}} - z\right); \tag{8.46}$$

– сила тяжести (вес)

$$G_{\text{п}} = m_{\text{п}}g = \text{c}_{\text{пр}}\Delta_{\text{ст}}; \tag{8.47}$$

уравнение равновесия подрессоренной массы (Н)

$$F_a = F_{\text{р}} - G_{\text{п}}; \tag{8.48}$$

уравнение движения подрессоренной массы (м/с^2)

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z = 0; \tag{8.49}$$

угловая частота собственных незатухающих колебаний подрессоренной массы (рад/с)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_{\text{пр}}}{m_{\text{п}}}}; \qquad (8.50)$$

Частота собственных незатухающих колебаний в различных единицах измерения:

– в рад/с

$$\omega_0 = \frac{31{,}3}{\sqrt{\Delta_{\text{ст}}}}; \qquad (8.51)$$

– в Гц

$$f_0 = \frac{0{,}5}{\sqrt{\Delta_{\text{ст}}}}; \qquad (8.52)$$

– в кол/мин

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{\Delta_{\text{ст}}}}; \qquad (8.53)$$

уравнение свободных колебаний подрессоренной массы

$$z = A \sin(\omega_0 t + \varphi), \qquad (8.54)$$

где амплитуда (м)

$$A = \sqrt{z_0^2 + \frac{\dot{z}_0^2}{\omega_0^2}}, \qquad (8.55)$$

фазовый угол (рад)

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_0 \omega_0}{\dot{z}_0}\right). \qquad (8.56)$$

В приведённых формулах (845)…(8.56): $m_{\text{п}}$ – подрессоренная масса, кг; $\ddot{z}$ – ускорение подрессоренной массы, м/с^2; $c_{\text{пр}}$ – приведённая жёсткость подвески, Н/м; $\Delta_{\text{ст}}$ – статический прогиб подвески, м; z – перемещение подрессоренной массы от положения статического равновесия, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; t – время, с; z_0 – начальное перемещение подрессоренной массы при $t = 0$, м; $\dot{z}_0$ – начальная скорость перемещения подрессоренной массы при $t = 0$, м/с.

Свободные колебания подрессоренной массы автомобиля как одномассовой системы с двумя степенями свободы без учёта сил сопротивления

Уравнения равновесия подрессоренной массы (Н) и (Н·м)

$$F_a = F_{р1} + F_{р2}; \tag{8.57}$$

$$T_{ay} = F_{р1} a_п - F_{р2} b_п; \tag{8.58}$$

уравнения движения подрессоренной массы (м/с^2)

$$\ddot{z}_1 + \eta_2 \ddot{z}_2 + \omega_1^2 z_1 = 0; \tag{8.59}$$

$$\ddot{z}_2 + \eta_1 \ddot{z}_1 + \omega_2^2 z_2 = 0; \tag{8.60}$$

коэффициенты связи

$$\eta_1 = \frac{a_п b_п - \rho_у^2}{a_п^2 + \rho_у^2}; \ \eta_2 = \frac{a_п b_п - \rho_у^2}{b_п^2 + \rho_у^2}; \tag{8.61}$$

парциальные (частные) частоты (рад/с)

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{c_{пр1} L^2}{m_п \left(b_п^2 + \rho_у^2\right)}}; \ \omega_2 = \sqrt{\frac{c_{пр2} L^2}{m_п \left(a_п^2 + \rho_у^2\right)}}; \tag{8.62}$$

собственные частоты (частоты связи) колебаний подрессоренной массы (рад/с):

– низкая

$$\Omega_н = \sqrt{\frac{\left(\omega_1^2 + \omega_2^2\right) - \sqrt{\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right)^2 + 4\eta_1\eta_2\omega_1^2\omega_2^2}}{2\left(1 - \eta_1\eta_2\right)}}; \tag{8.63}$$

– высокая

$$\Omega_в = \sqrt{\frac{\left(\omega_1^2 + \omega_2^2\right) + \sqrt{\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right)^2 + 4\eta_1\eta_2\omega_1^2\omega_2^2}}{2\left(1 - \eta_1\eta_2\right)}}; \tag{8.64}$$

коэффициент распределения подрессоренной массы

$$\varepsilon_{\text{у}} = \frac{\rho_{\text{у}}^2}{a_{\text{п}} b_{\text{п}}}; \tag{8.65}$$

собственные частоты колебаний подрессоренной массы при $\varepsilon_{\text{у}} = 1$ (рад/с)

$$\Omega_{\text{н}} = \omega_1 = \sqrt{\frac{c_{\text{пр}1}}{m_{\text{п}1}}};\ \Omega_{\text{в}} = \omega_2 = \sqrt{\frac{c_{\text{пр}2}}{m_{\text{п}2}}}, \tag{8.66}$$

где T_{ay} – инерционный момент подрессоренной массы относительно поперечной оси, Н·м; z_1 и z_2 – перемещения подрессоренной массы на передней и задней подвесках, м; $\ddot{z}_1$ и $\ddot{z}_2$ – ускорения подрессоренной массы на передней и задней подвесках, м/с^2; $a_{\text{п}}$ и $b_{\text{п}}$ – расстояния от центра подрессоренной массы до передней и задней подвесок соответственно, м; $\rho_{\text{у}}$ – радиус инерции подрессоренной массы относительно поперечной оси, м; L – база автомобиля, м; $m_{\text{п}}$ – подрессоренная масса, кг; $c_{\text{пр}1}$ и $c_{\text{пр}2}$ – приведённые жёсткости передней и задней подвесок, Н/м.

Свободные колебания подрессоренных и неподрессоренных масс автомобиля без учёта сил сопротивления

Силы, действующие на подрессоренную и неподрессоренную массы (Н):

– сила инерции, действующая на подрессоренную массу,

$$F_a = -m_{\text{п}} \ddot{z}; \tag{8.67}$$

– упругая сила подвески

$$F_{\text{р}} = c_{\text{р}}(z - \xi); \tag{8.68}$$

– сила инерции, действующая на неподрессоренную массу,

$$F_{a\text{н}} = -m_{\text{н}} \ddot{\xi}; \tag{8.69}$$

– упругая сила шин

$$F_{\text{ш}} = c_{\text{ш}} \xi; \tag{8.70}$$

уравнение равновесия (Н):

– подрессоренной массы

$$F_a = F_{\text{р}}; \tag{8.71}$$

– неподрессоренной массы

$$F_{ан} = -F_р + F_ш; \tag{8.72}$$

уравнения движения (м/с^2):

– подрессоренной массы

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z - \omega_0^2 \xi = 0; \tag{8.73}$$

– неподрессоренной массы

$$\ddot{\xi} + \omega_к^2 \xi - \overline{\omega}_0^2 z = 0; \tag{8.74}$$

парциальные частоты колебаний (рад/с):

– подрессоренной массы

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_п}}; \tag{8.75}$$

– неподрессоренной массы

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c_р + c_ш}{m_н}}; \tag{8.76}$$

– неподрессоренной массы при неподвижной подрессоренной массе

$$\overline{\omega}_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_н}}; \tag{8.77}$$

собственные частоты колебаний (частоты связи) подрессоренной и неподрессоренной масс (рад/с):

– низкая

$$\Omega_0 = \sqrt{0{,}5\left[\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right) - \sqrt{\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right)^2 - 4\left(\omega_к^2 - \overline{\omega}_0^2\right)\omega_0^2}\right]}; \tag{8.78}$$

– высокая

$$\Omega_к = \sqrt{0{,}5\left[\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right) + \sqrt{\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right)^2 - 4\left(\omega_к^2 - \overline{\omega}_0^2\right)\omega_0^2}\right]}; \tag{8.79}$$

приближённые формулы для расчёта собственных частот колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс (рад/с):

– низкой

$$\Omega_0 \approx \sqrt{\frac{c_р}{m_п}}; \qquad (8.80)$$

– высокой

$$\Omega_к \approx \sqrt{\frac{c_р + c_ш}{m_н}}, \qquad (8.81)$$

где z и ξ – вертикальные перемещения подрессоренной и неподрессоренной масс, м; $\ddot{z}$ и $\ddot{\xi}$ – вертикальные ускорения подрессоренной и неподрессоренной масс, м/с^2; $c_р$ и $c_ш$ – жёсткости подвески и шин, Н/м; $m_п$ и $m_н$ – подрессоренная и неподрессоренная массы, кг.

Свободные колебания подрессоренной массы автомобиля как одномассовой системы с одной степенью свободы с учётом сил сопротивления

Сила сопротивления амортизатора (Н)

$$F_а = k_а \dot{z}; \qquad (8.82)$$

уравнение равновесия подрессоренной массы (Н)

$$F_a = F_а + F_р - G_п; \qquad (8.83)$$

уравнение движения подрессоренной массы (м/с^2)

$$\ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z = 0; \qquad (8.84)$$

коэффициент затухания свободных колебаний подрессоренной массы (коэффициент неупругого сопротивления подвески) (1/с)

$$h_0 = \frac{k_а}{2m_п}; \qquad (8.85)$$

частота собственных незатухающих колебаний (рад/с)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_п}}; \qquad (8.86)$$

уравнение свободных затухающих колебаний подрессоренной массы (м)

$$z = Ae^{-h_0 t}\sin(\omega t + \varphi); \qquad (8.87)$$

частота собственных затухающих колебаний подрессоренной массы (рад/с)

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - h_0^2} = \omega_0 \sqrt{1 - \psi_0^2}\,; \tag{8.88}$$

относительный коэффициент затухания колебаний подрессоренной массы (коэффициент апериодичности)

$$\psi_0 = \frac{h_0}{\omega_0}\,; \tag{8.89}$$

декремент колебаний

$$d = \frac{z_n}{z_{n+1}}\,; \tag{8.90}$$

логарифмический декремент колебаний

$$\ln d = \frac{2\pi\psi_0}{\sqrt{1 - \psi_0^2}}\,; \tag{8.91}$$

коэффициент поглощения энергии в подвеске

$$\eta_W = 1 - \frac{1}{d^2}\,, \tag{8.92}$$

где $k_а$ – коэффициент сопротивления амортизатора, Н·с/м; $\dot{z}$ – скорость подрессоренной массы, м/с; z – вертикальное перемещение подрессоренной массы, м; $m_п$ – подрессоренная масса, кг; $c_р$ – жёсткость подвески, Н/м; t – время, с; z_n и z_{n+1} – перемещения подрессоренной массы за промежуток времени между ними, равный периоду колебаний, м.

Свободные колебания подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля с учётом сил сопротивления

Сила сопротивления амортизаторов (Н)

$$F_а = k_а\left(\dot{z} - \dot{\xi}\right); \tag{8.93}$$

уравнения равновесия (Н):

– подрессоренной массы

$$F_a = F_а + F_р; \tag{8.94}$$

– неподрессоренной массы

$$F_{ан} = -F_а - F_р + F_ш; \tag{8.95}$$

уравнения движения (м/с^2):

– подрессоренной массы

$$\ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z - 2h_0\dot{\xi} - \omega_0^2\xi = 0; \tag{8.96}$$

– неподрессоренной массы

$$\ddot{\xi} + 2h_{к0}\dot{\xi} + \omega_к^2\xi - 2h_{к0}\dot{z} - \overline{\omega}_0^2 z = 0; \tag{8.97}$$

коэффициенты затухания колебаний (1/с):

– подрессоренной массы

$$h_0 = \frac{k_а}{2m_п}; \tag{8.98}$$

– неподрессоренной массы

$$h_{к0} = \frac{k_а}{2m_н}; \tag{8.99}$$

уравнения свободных затухающих колебаний (м):

– подрессоренной массы

$$z = A_z e^{-h_0 t}\sin(\omega t + \varphi_0); \tag{8.100}$$

– неподрессоренной массы

$$\xi = A_\xi e^{-h_{к0} t}\sin(\omega'_к t + \varphi_к); \tag{8.101}$$

частоты собственных затухающих колебаний (рад/с):

– подрессоренной массы

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - h_0^2} = \omega_0\sqrt{1 - \psi_0^2}; \tag{8.102}$$

– неподрессоренной массы

$$\omega'_к = \sqrt{\omega_к^2 - h_{к0}^2} = \omega_к\sqrt{1 - \psi_к^2}; \tag{8.103}$$

относительные коэффициенты затухания колебаний (коэффициенты апериодичности):

– подрессоренной массы

$$\psi_0 = \frac{h_0}{\omega_0}; \tag{8.104}$$

– неподрессоренной массы

$$\psi_к = \frac{h_{к0}}{\omega_к}, \tag{8.105}$$

где $k_а$ – коэффициент сопротивления амортизаторов, Н·с/м; $\dot{z} - \dot{\xi}$ – скорость относительных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс, м/с; z и ξ – вертикальные перемещения подрессоренной и неподрессоренной масс, м; $\ddot{z}$ и $\ddot{\xi}$ – ускорения подрессоренной и неподрессоренной масс, м/с^2; $m_п$ и $m_н$ – подрессоренная и неподрессоренной массы, кг; A_z и A_ξ – начальные амплитуды перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс, м; φ_0 и $\varphi_к$ – начальные фазовые углы подрессоренной и неподрессоренной масс, рад; t – время, с.

5. Вынужденные колебания автомобиля

Вынужденные колебания подрессоренной массы с учётом сил сопротивления

Силы, действующие на подрессоренную массу (Н):
– сила инерции

$$F_a = -m_п \ddot{z}; \tag{8.106}$$

– сила сопротивления амортизаторов

$$F_а = k_а(\dot{z} - \dot{q}); \tag{8.107}$$

– упругая сила подвески

$$F_р = c_{пр}(z - q); \tag{8.108}$$

уравнение равновесия подрессоренной массы (Н)

$$F_a = F_а + F_р; \tag{8.109}$$

уравнение движения подрессоренной массы (м/с^2)

$$\ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z = 2h_0 q_0 \nu \sin(\nu t) + \omega_0^2 q_0 [1 - \cos(\nu t)]; \tag{8.110}$$

уравнение вынужденных колебаний подрессоренной массы

$$\frac{z}{q_0} = 1 + z_\nu \sin(\nu t + \varphi_\nu); \tag{8.111}$$

амплитуда (м)

$$z_\nu = \omega_0 \sqrt{\frac{4\psi_0^2\nu^2 + \omega_0^2}{\left(\omega_0^2 - \nu^2\right)^2 + 4\psi_0^2\omega_0^2\nu^2}}; \tag{8.112}$$

фазовый угол (рад)

$$\varphi_\nu = \operatorname{arctg}\left[\frac{\left(\omega_0^2 - \nu^2 + 4\psi_0^2\nu^2\right)\omega_0}{2\psi_0\nu^3}\right]. \tag{8.113}$$

Вынужденные колебания подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля с учётом сил сопротивления

Уравнения движения (м/с^2):

– подрессоренной массы

$$\ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z - 2h_0\dot{\xi} - \omega_0^2\xi = 0; \tag{8.114}$$

– неподрессоренной массы

$$\ddot{\xi} + 2h_{к0}\dot{\xi} + \omega_к^2\xi - 2h_{к0}\dot{z} - \overline{\omega}_0^2 z = \overline{\omega}_к^2 q_0\left[1 - \cos(\nu t)\right]; \tag{8.115}$$

уравнения вынужденных колебаний:

– подрессоренной массы

$$\frac{z}{q_0} = 1 + z_\nu \sin(\nu t + \varphi_\nu); \tag{8.116}$$

– неподрессоренной массы

$$\frac{\xi}{q_0} = 1 + \xi_\nu \sin\left(\nu t + \varphi_{к\nu}\right); \tag{8.117}$$

амплитуды и фазовые углы (м и рад/с):

– подрессоренной массы

$$z_\nu = \omega_0 \sqrt{\frac{4\psi_0^2\nu^2 + \omega_0^2}{\left(\omega_0^2 - \nu^2\right)^2 + 4\psi_0^2\omega_0^2\nu^2}}; \tag{8.118}$$

$$\varphi_\nu = \mathrm{arctg}\left[\frac{\left(\omega_0^2 - \nu^2 + 4\psi_0^2\nu^2\right)\omega_0}{2\psi_0\nu^3}\right]; \qquad (8.119)$$

– неподрессоренной массы

$$\xi_\nu = \omega_к\sqrt{\frac{4\psi_к^2\nu^2 + \omega_к^2}{\left(\omega_к^2 - \nu^2\right)^2 + 4\psi_к^2\omega_к^2\nu^2}}; \qquad (8.120)$$

$$\varphi_{к\nu} = \mathrm{arctg}\left[\frac{\left(\omega_к^2 - \nu^2 + 4\psi_к^2\nu^2\right)\omega_к}{2\psi_к\nu^3}\right]; \qquad (8.121)$$

скорость движения автомобиля (м/с)

$$V = \frac{l\nu}{2\pi} = 0{,}16l\nu, \qquad (8.122)$$

где l – длина периодически чередующихся неровностей, м; ν – частота вынужденных колебаний, рад/с.

Случайные колебания автомобиля

Спектральная плотность процесса вибронагруженности автомобиля (м^2/с)

$$S_B(\nu) = \left|W_B(i\nu)\right|^2 Sq(\nu); \qquad (8.123)$$

квадрат модуля частотной характеристики:

– перемещений подрессоренной массы

$$\left|W_z(i\nu)\right|^2 = \frac{B}{A}; \qquad (8.124)$$

– перемещений неподрессоренной массы

$$\left|W_\xi(i\nu)\right|^2 = \frac{C}{A}; \qquad (8.125)$$

– относительных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс (прогиба подвески)

$$\left|W_{z-\xi}(i\nu)\right|^2 = \frac{D}{A}; \qquad (8.126)$$

– деформации шин

$$\left|W_{\xi-q}(i\nu)\right|^2 = \frac{E}{A}; \qquad (8.127)$$

– скорости перемещений подрессоренной массы (с$^{-2}$)

$$\left|W_{\dot{z}}(i\nu)\right|^2 = \frac{\nu^2 B}{A}; \qquad (8.128)$$

– скорости перемещений неподрессоренной массы (с$^{-2}$)

$$\left|W_{\dot{\xi}}(i\nu)\right|^2 = \frac{\nu^2 C}{A}; \qquad (8.129)$$

– скорости относительных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс (с$^{-2}$)

$$\left|W_{\dot{z}-\dot{\xi}}(i\nu)\right|^2 = \frac{\nu^2 D}{A}; \qquad (8.130)$$

– ускорений подрессоренной массы (с$^{-4}$)

$$\left|W_{\ddot{z}}(i\nu)\right|^2 = \frac{\nu^4 B}{A}; \qquad (8.131)$$

– ускорений неподрессоренной массы (с$^{-4}$)

$$\left|W_{\ddot{\xi}}(i\nu)\right|^2 = \frac{\nu^4 C}{A}, \qquad (8.132)$$

где

$$A = \left\{c_{\text{р}}c_{\text{ш}} - \left[m_{\text{п}}\left(c_{\text{р}} + c_{\text{ш}}\right) + k_{\text{а}}k_{\text{ш}} + m_{\text{н}}c_{\text{р}}\right]\nu^2 + m_{\text{п}}m_{\text{н}}\nu^4\right\}^2 +$$
$$+ \left\{\left(k_{\text{а}}c_{\text{ш}} + k_{\text{ш}}c_{\text{р}}\right)\nu - \left[m_{\text{п}}\left(k_{\text{а}} + k_{\text{ш}}\right) + m_{\text{н}}k_{\text{а}}\right]\nu^3\right\}^2;$$

$$B = \left(c_{\text{р}}c_{\text{ш}} - k_{\text{а}}k_{\text{ш}}\nu^2\right)^2 + \left(k_{\text{а}}c_{\text{ш}} + k_{\text{ш}}c_{\text{р}}\right)^2\nu^2;$$

$$C = \left[c_{\text{р}}c_{\text{ш}} - \left(m_{\text{п}}c_{\text{ш}} + k_{\text{а}}k_{\text{ш}}\right)\nu^2\right]^2 + \left[\left(k_{\text{ш}}c_{\text{р}} + k_{\text{а}}c_{\text{ш}}\right)\nu - m_{\text{п}}k_{\text{ш}}\nu^3\right]^2;$$

$$D = \left(c_{\text{ш}}^2 + k_{\text{ш}}^2\nu^2\right)m_{\text{п}}\nu^4;$$

$$E = \left[m_{\text{п}} m_{\text{н}} \nu^4 - c_{\text{р}}\left(m_{\text{п}} + m_{\text{н}}\right)\nu^2\right]^2 + \left[k_{\text{а}}\left(m_{\text{п}} + m_{\text{н}}\right)\nu^3\right]^2;$$

ν – частота воздействия (рад/с);

среднее квадратическое отклонение процесса вибронагруженности автомобиля

$$\sigma_B = \sqrt{D_B} = \sqrt{\int_{\nu_1}^{\nu_2} S_B(\nu)\, d\nu} = \sqrt{\int_{\nu_1}^{\nu_2} \left|W_B(i\nu)\right|^2 S_q(\nu)\, d\nu}; \qquad (8.133)$$

средняя квадратическая величина процесса вибронагруженности автомобиля

$$\sigma_{B\text{с}} = \sqrt{\sigma_B^2 + m_B^2}; \qquad (8.134)$$

максимальная величина процесса вибронагруженности автомобиля при нормальном законе его распределения

$$B_{\max} = 3\sigma_{B\text{с}}; \qquad (8.135)$$

корректированные по частоте средние квадратические величины виброускорений (м/с^2):

– вертикальных

$$\sigma_{\ddot{z}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(k_{\ddot{z}i}\sigma_{\ddot{z}i}\right)^2}; \qquad (8.136)$$

– горизонтальных продольных

$$\sigma_{\ddot{x}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(k_{\ddot{x}i}\sigma_{\ddot{x}i}\right)^2}; \qquad (8.137)$$

– горизонтальных поперечных

$$\sigma_{\ddot{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(k_{\ddot{y}i}\sigma_{\ddot{y}i}\right)^2}, \qquad (8.138)$$

где $\left|W_B(i\nu)\right|^2$ – квадрат модуля частотной характеристики выходного процесса; $S_q(\nu)$ – спектральная плотность воздействия микропрофиля дороги на колёса автомобиля, м^2·с; $m_{\text{п}}$ и $m_{\text{н}}$ – подрессоренная и неподрессоренная массы, кг; $c_{\text{р}}$ и $c_{\text{ш}}$ – жёсткости подвески и шин, Н/м; $k_{\text{а}}$ и $k_{\text{ш}}$ – коэффициенты сопротивления амортизаторов и демпфирования шин, Н·с/м; ν – частота воздействия ординат микропрофиля, рад/с; D_B – дисперсия выходного

процесса вибронагруженности автомоибля, м^2; ν_1 и ν_2 – нижнее и верхнее значения частоты воздействия соответственно, рад/с; m_B – математическое ожидание ординат микропрофиля, м; $k_{\ddot{z}i}$, $k_{\ddot{x}i}$, $k_{\ddot{y}i}$ – весовые коэффициенты для i-й частотной полосы среднего квадратического значения виброускорения в направлениях осей z, x и y соответственно; $\sigma_{\ddot{z}i}$, $\sigma_{\ddot{x}i}$, $\sigma_{\ddot{y}i}$ – средние квадратические значения в i-й частотной полосе вертикальных, горизонтальных продольных и горизонтальных поперечных виброускорений автомобиля соответственно, м/с^2.

Примеры решения типовых задач

Пример 8.1. Разгрузочные клапаны гидравлического амортизатора открываются на ходе сжатия при скорости 0,4 м/с и силе сопротивления 630 Н, на ходе отбоя при скорости 0,34 м/с и силе сопротивления 1960 Н. Определить среднее значение коэффициента сопротивления амортизатора.

Дано: $\dot{\Delta}_{\text{а.сж.к}} = 0{,}4$ м/с; $F_{\text{а.сж.к}} = 630$ Н; $\dot{\Delta}_{\text{а.от.к}} = 0{,}34$ м/с; $F_{\text{а.сж.к}} = 1960$ Н.

Определить: $k_{\text{а.ср}}$.

Решение: Коэффициенты сопротивления амортизатора:

– на ходе сжатия

$$k_{\text{а.сж}} = \frac{F_{\text{а.сж.к}}}{\dot{\Delta}_{\text{а.сж.к}}} = \frac{630}{0{,}4} = 1575 \text{ Н·с/м};$$

– на ходе отбоя

$$k_{\text{а.от}} = \frac{F_{\text{а.от.к}}}{\dot{\Delta}_{\text{а.от.к}}} = \frac{1960}{0{,}34} = 5765 \text{ Н·с/м};$$

– среднее значение

$$k_{\text{а.ср}} = \frac{k_{\text{а.сж}} + k_{\text{а.от}}}{2} = \frac{1575 + 5765}{2} = 3670 \text{ Н·с/м} = 3{,}67 \text{ кН·с/м}.$$

Ответ: $k_{\text{а.ср}} = 3{,}67$ кН·с/м.

Пример 8.2. Корреляционная функция ординат микропрофиля разбитой булыжной дороги

$$R_q(l_S) = 10{,}7\left[0{,}8e^{-0{,}36|l_S|} + 0{,}2e^{-0{,}2|l_S|}\cos(1{,}75|l_S|)\right] \text{ см}^2.$$

Определить спектральную плотность воздействия микропрофиля дороги на автомобиль при скорости его движения 7,2 км/ч и частоте воздействия 1 рад/с.

Дано: D_q = 10,7 см^2; A_1 = 0,8; A_2 = 0,2; α_{01} = 0,36 1/м; α_{02} = 0,2 1/м; β_{02} = 1,75 1/м; $V_а$ = 7,2 км/ч; ν = 1 рад/с.

Определить: $S_q(\nu)$.

Решение: Коэффициенты в уравнении корреляционной функции воздействия микропрофиля дороги на автомобиль

$$\alpha_1 = \frac{V_а}{3{,}6}\alpha_{01} = \frac{7{,}2}{3{,}6}\cdot 0{,}36 = 0{,}72\ \text{с}^{-1};\ \alpha_2 = \frac{V_а}{3{,}6}\alpha_{02} = \frac{7{,}2}{3{,}6}\cdot 0{,}2 = 0{,}4\ \text{с}^{-1};$$

$$\beta_2 = \frac{V_а}{3{,}6}\beta_{02} = \frac{7{,}2}{3{,}6}\cdot 1{,}75 = 3{,}5\ \text{с}^{-1}.$$

Корреляционная функция воздействия микропрофиля дороги на автомобиль

$$R_q(\tau) = D_q\left[A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|}\cos(\beta_2|\tau|)\right] =$$
$$= 10{,}7\left[0{,}8e^{-0{,}72|\tau|} + 0{,}2e^{-0{,}4|\tau|}\cos(3{,}5|\tau|)\right]\ \text{см}^2.$$

Спектральная плотность воздействия микропрофиля дороги на автомобиль

$$S_q(\nu) = \frac{2D_q}{\pi}\left[\frac{A_1\alpha_1}{\nu^2+\alpha_1^2} + \frac{A_2\alpha_2(\nu^2+\alpha_2^2+\beta_1^2)}{(\nu^2+\alpha_2^2-\beta_2^2)^2+4\alpha_2^2\beta_1^2}\right];$$

$$S_q(1) = \frac{2\cdot 10{,}7}{3{,}14}\left[\frac{0{,}8\cdot 0{,}72}{1^2+0{,}72^2} + \frac{0{,}2\cdot 0{,}4(1^2+0{,}4^2+3{,}5^2)}{(1^2+0{,}4^2-3{,}5^2)^2+4\cdot 0{,}4^2\cdot 3{,}5^2}\right] = 2{,}64\ \text{см}^2\cdot\text{с}.$$

Ответ: $S_q(1) = 2{,}64$ см^2·с.

Пример 8.3. У грузового автомобиля жёсткость передних и задних рессор 255 кН/м и 700 кН/м соответственно; жёсткость шин передних и задних колёс 1262 кН/м и 3175 кН/м соответственно. Определить приведённые жёсткости передней и задней подвесок и определить, на сколько процентов они отличаются от жёсткостей рессор.

Дано: $c_{р1}$ = 255 кН/м; $c_{р2}$ = 700 кН/м; $c_{ш1}$ = 1262 кН/м; $c_{ш2}$ = 3175 кН/м.

Определить: $c_{пр1}$; $c_{пр2}$; Δc_1; Δc_2.

Решение: Приведённые жёсткости:

– передней подвески

$$c_{\text{пр}1} = \frac{c_{\text{р}1} c_{\text{ш}1}}{c_{\text{р}1} + c_{\text{ш}1}} = \frac{255 \cdot 1262}{255 + 1262} = 212{,}1 \text{ кН/м};$$

– задней подвески

$$c_{\text{пр}2} = \frac{c_{\text{р}2} c_{\text{ш}2}}{c_{\text{р}2} + c_{\text{ш}2}} = \frac{700 \cdot 3175}{700 + 3175} = 573{,}5 \text{ кН/м}.$$

Отличие жёсткостей рессор от приведённых жёсткостей подвесок:
– передней

$$\Delta c_1 = \frac{c_{\text{р}1} - c_{\text{пр}1}}{c_{\text{р}1}} \cdot 100 = \frac{255 - 212{,}1}{255} \cdot 100 = 16{,}8\,\%;$$

– задней

$$\Delta c_2 = \frac{c_{\text{р}2} - c_{\text{пр}2}}{c_{\text{р}2}} \cdot 100 = \frac{700 - 575{,}5}{700} \cdot 100 = 18{,}1\%.$$

Ответ: $c_{\text{пр}1} = 212{,}1$ кН/м; $c_{\text{пр}2} = 573{,}5$ кН/м; $\Delta c_1 = 16{,}8\,\%$; $\Delta c_2 = 18{,}1\%$.

Пример 8.4. У легкового автомобиля подрессоренная масса 2670 кг; база 3,76 м; расстояние по горизонтали от центра подрессоренной массы до передней оси 1,83 м; радиус инерции относительно попеерчной оси координат 1,783 м; жёсткость передней и задней подвесок 25,3 кН/м и 24,3 кН/м соответственно; жёсткость шин передних и задних колёс 240 кН/м и 254 кН/м соответственно. Определить частоты собственных незатухающих колебаний подрессоренной массы автомобиля.

Дано: $m_{\text{п}} = 2670$ кг; $L = 3{,}76$ м; $a_{\text{п}} = 1{,}83$ м; $\rho_{\text{у}} = 1{,}783$ м; $c_{\text{р}1} = 25{,}3$ кН/м; $c_{\text{р}2} = 24{,}3$ кН/м; $c_{\text{ш}1} = 240$ кН/м; $c_{\text{ш}2} = 254$ кН/м.

Определить: $\Omega_{\text{н}}$; $\Omega_{\text{в}}$.

Решение: Приведённые жёсткости передних и задних подвесок

$$c_{\text{пр}1} = \frac{c_{\text{р}1} c_{\text{ш}1}}{c_{\text{р}1} + c_{\text{ш}1}} = \frac{25{,}3 \cdot 240}{25{,}3 + 240} = 22{,}9 \text{ кН/м} = 22900 \text{ Н/м};$$

$$c_{\text{пр}2} = \frac{c_{\text{р}2} c_{\text{ш}2}}{c_{\text{р}2} + c_{\text{ш}2}} = \frac{24{,}3 \cdot 254}{24{,}3 + 254} = 22{,}2 \text{ кН/м} = 22200 \text{ Н/м}.$$

Коэффициенты связи

$$\eta_1 = \frac{a_п b_п - \rho_у^2}{a_п^2 + \rho_у^2} = \frac{1{,}83(3{,}76 - 1{,}83) - 1{,}783^2}{1{,}83^2 + 1{,}783^2} = 0{,}054\,;$$

$$\eta_2 = \frac{a_п b_п - \rho_у^2}{b_п^2 + \rho_у^2} = \frac{1{,}83(3{,}76 - 1{,}83) - 1{,}783^2}{(3{,}76 - 1{,}83)^2 + 1{,}783^2} = 0{,}051\,.$$

Парциальные частоты

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{c_{пр1} L^2}{m_п\left(b_п^2 + \rho_у^2\right)}} = \sqrt{\frac{22900 \cdot 3{,}76^2}{2670\left[(3{,}76 - 1{,}83)^2 + 1{,}783^2\right]}} = 4{,}19 \text{ рад/с};$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{c_{пр2} L^2}{m_п\left(a_п^2 + \rho_у^2\right)}} = \sqrt{\frac{22200 \cdot 3{,}76^2}{2670\left(1{,}83^3 + 1{,}783^2\right)}} = 4{,}24 \text{ рад/с}.$$

Частоты собственных колебаний подрессоренной массы (частоты связи):

– низкая

$$\Omega_н = \sqrt{\frac{1}{2(1 - \eta_1\eta_2)}\left[\left(\omega_1^2 + \omega_2^2\right) - \sqrt{\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right)^2 + 4\eta_1\eta_2\omega_1^2\omega_2^2}\right]} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2(1 - 0{,}054 \cdot 0{,}051)}\left[\left(4{,}19^2 + 4{,}24^2\right) - \sqrt{\begin{matrix}\left(4{,}24^2 - 4{,}19^2\right)^2 + \\ + 4 \cdot 0{,}054 \cdot 0{,}051 \cdot 4{,}19^2 \cdot 4{,}24^2\end{matrix}}\right]} =$$

$$= 4{,}11 \text{ рад / с} = 0{,}65 \text{ Гц};$$

– высокая

$$\Omega_в = \sqrt{\frac{1}{2(1 - \eta_1\eta_2)}\left[\left(\omega_1^2 + \omega_2^2\right) + \sqrt{\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right)^2 + 4\eta_1\eta_2\omega_1^2\omega_2^2}\right]} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2(1 - 0{,}054 \cdot 0{,}051)}\left[\left(4{,}19^2 + 4{,}24^2\right) + \sqrt{\begin{matrix}\left(4{,}24^2 - 4{,}19^2\right)^2 + \\ + 4 \cdot 0{,}054 \cdot 0{,}051 \cdot 4{,}19^2 \cdot 4{,}24^2\end{matrix}}\right]} =$$

$$= 4{,}33 \text{ рад / с} = 0{,}69 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\Omega_н = 0{,}65$ Гц; $\Omega_в = 0{,}69$ Гц.

Пример 8.5. Грузовой автомобиль имеет следующие конструктивные параметры передней подвески: подрессоренная и неподрессоренная массы

3970 кг и 700 кг соответственно; жёсткости подвески и шин 510 кН/м и 1600 кН/м. Определить собственные частоты колебаний системы.

Дано: $m_п$ = 3970 кг; $m_н$ = 700 кг; $c_р$ = 510 кН/м; $c_ш$ = 1600 кН/м.

Определить: Ω_0; $\Omega_к$.

Решение: Парциальные частоты:

– подрессоренной массы

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_п}} = \sqrt{\frac{51000}{3970}} = 11{,}33 \text{ рад/с};$$

– неподрессоренной массы

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c_р + c_ш}{m_н}} = \sqrt{\frac{51000 + 1600000}{700}} = 54{,}90 \text{ рад/с};$$

– колебаний неподрессоренной массы при закреплённой подрессоренной массе

$$\overline{\omega}_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_н}} = \sqrt{\frac{510000}{700}} = 26{,}99 \text{ рад/с}.$$

Собственные частоты колебаний системы:

– низкая

$$\Omega_0 = \sqrt{0{,}5\left[\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right) - \sqrt{\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right)^2 - 4\left(\omega_к^2 - \overline{\omega}_0^2\right)\omega_0^2}\right]} =$$

$$= \sqrt{0{,}5\left[\left(54{,}90^2 + 11{,}33^2\right) - \sqrt{\begin{matrix}\left(54{,}90^2 + 11{,}33^2\right)^2 - \\ - 4\left(54{,}90^2 - 26{,}99^2\right)^2 \cdot 11{,}33^2\end{matrix}}\right]} =$$

$$= 9{,}82 \text{ рад/с} = 1{,}56 \text{ Гц};$$

– высокая

$$\Omega_к = \sqrt{0{,}5\left[\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right) + \sqrt{\left(\omega_к^2 + \omega_0^2\right)^2 - 4\left(\omega_к^2 - \overline{\omega}_0^2\right)\omega_0^2}\right]} =$$

$$= \sqrt{0{,}5\left[\left(54{,}90^2 + 11{,}33^2\right) + \sqrt{\begin{matrix}\left(54{,}90^2 + 11{,}33^2\right)^2 - \\ - 4\left(54{,}90^2 - 26{,}99^2\right)^2 \cdot 11{,}35^2\end{matrix}}\right]} =$$

$$= 55{,}19 \text{ рад/с} = 8{,}79 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\Omega_0 = 1{,}56$ Гц; $\Omega_к = 8{,}79$ Гц.

Пример 8.6. При свободных колебаниях амплитуда перемещений подрессоренной массы за период уменьшилась с 60 до 25,6 м. Определить коэффициенты апериодичности и поглощения энергии в подвеске.

Дано: z_n = 60 мм; z_{n+1} = 25,6 мм.

Определить: ψ_0; η_w.

Решение: Декремент колебаний

$$d = \frac{z_n}{z_{n+1}} = \frac{60}{25{,}6} = 2{,}34 .$$

Логарифмический декремент колебаний

$$\ln d = \ln 2{,}34 = 0{,}851 .$$

Коэффициент апериодичности из выражения (8.91)

$$\psi_0 = \sqrt{\frac{\ln^2 d}{4\pi^2 + \ln^2 d}} = \sqrt{\frac{0{,}851^2}{4 \cdot 3{,}14^2 + 0{,}851^2}} = 0{,}134 .$$

Коэффициент поглощения энергии в подвеске

$$\eta_w = 1 - \frac{1}{d^2} = 1 - \frac{1}{2{,}34^2} = 0{,}818 .$$

Ответ: $\psi_0 = 0{,}134$; $\eta_w = 0{,}818$.

Пример 8.7. Двухмассовая колебательная система с двумя степенями свободы имеет следующие конструктивные параметры: подрессоренная и неподрессоренная массы 3150 кг и 600 кг соответственно; жёсткости подвески и шин 170 кН/м и 2000 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 14 кН·с/м. Характеристики подвески, шин и амортизаторов линейные. Колебания подрессоренной и неподрессоренной масс не оказывают влияния друг на друга. Определить частоты собственных колебаний системы.

Дано: $m_п = 3150$ кг; $m_н = 600$ кг; $c_р = 170$ кН/м; $c_ш = 2000$ кН/м; $k_а = 14$ кН·с/м.

Определить: ω; $\omega'_к$.

Решение: Парциальные частоты незатухающих колебаний:

– подрессоренной массы

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_п}} = \sqrt{\frac{170000}{3150}} = 7{,}35 \text{ рад/с};$$

– неподрессоренной массы

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c_р + c_ш}{m_н}} = \sqrt{\frac{170000 + 2000000}{600}} = 60{,}14 \text{ рад/с}.$$

Парциальные коэффициенты затухания колебаний:
– подрессоренной массы

$$h_0 = \frac{k_а}{2m_п} = \frac{14000}{2 \cdot 3150} = 2{,}22 \text{ 1/с};$$

– неподрессоренной массы

$$h_{к0} = \frac{k_а}{2m_н} = \frac{14000}{2 \cdot 600} = 11{,}67 \text{ 1/с}.$$

Коэффициенты апериодичности:
– подрессоренной массы

$$\psi_0 = \frac{h_0}{\omega_0} = \frac{2{,}22}{7{,}35} = 0{,}3;$$

– неподрессоренной массы

$$\psi_{к0} = \frac{h_{к0}}{\omega_к} = \frac{11{,}67}{60{,}14} = 0{,}19.$$

Частоты собственных затухающих колебаний:
– подрессоренной массы

$$\omega = \omega_0\sqrt{1 - \psi_0^2} = 7{,}35\sqrt{1 - 0{,}3^2} = 7{,}01 \text{ рад/с} = 1{,}12 \text{ Гц};$$

– неподрессоренной массы

$$\omega'_к = \omega_к\sqrt{1 - \psi_{к0}^2} = 60{,}14\sqrt{1 - 0{,}19^2} = 57{,}97 \text{ рад/с} = 9{,}23 \text{ Гц}.$$

Ответ: $\omega = 1{,}12$ Гц; $\omega'_к = 9{,}23$ Гц.

Пример 8.8. Автобус движется по участку дороги с периодически чередующимися неровностями длиной 2 м. Конструктивные параметры передней подвески автобуса: подрессоренная и неподрессоренная массы 2927 кг и 633 кг соответственно; жёсткость рессор и шин 251 кН/м и 2296 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 10,84 кН·с/м. Определить скорости движения автобуса, при которых возникают резонансные

колебания подрессоренной и неподрессоренной масс. Колебания масс не влияют друг на друга.

Дано: l = 2 м; $m_п$ = 2927 кг; $m_н$ = 633 кг; $c_р$ = 251 кН/м; $c_ш$ = 2296 кН/м; $k_а$ = 10,84 кН·с/м.

Определить: $V_{а.н}$; $V_{а.в}$.

Решение

Парциальные частоты незатухающих колебаний:

– подрессоренной массы

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_р}{m_п}} = \sqrt{\frac{251000}{2927}} = 9{,}26 \text{ рад/с};$$

– неподрессоренной массы

$$\omega_к = \sqrt{\frac{c_р + c_ш}{m_н}} = \sqrt{\frac{251000 + 2296000}{633}} = 63{,}43 \text{ рад/с}.$$

Парциальные коэффициенты затухания колебаний:

– подрессоренной массы

$$h_0 = \frac{k_а}{2m_п} = \frac{10840}{2 \cdot 2927} = 1{,}85 \text{ 1/с};$$

– неподрессоренной массы

$$h_{к0} = \frac{k_а}{2m_н} = \frac{10840}{2 \cdot 633} = 8{,}56 \text{ 1/с}.$$

Частоты собственных затухающих колебаний:

– подрессоренной массы

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - h_0^2} = \sqrt{9{,}26^2 - 1{,}85^2} = 9{,}07 \text{ рад/с};$$

– неподрессоренной массы

$$\omega'_к = \sqrt{\omega_к^2 - h_{к0}^2} = \sqrt{63{,}43^2 - 8{,}56^2} = 62{,}85 \text{ рад/с}.$$

Скорости движения автобуса, при которых возникают резонансные колебания:

– подрессоренной массы

$$\nu = \omega;\ \nu = \frac{2\pi V_{\text{а.н}}}{3{,}6l} = \omega, \text{ откуда}$$

$$V_{\text{а.н}} = \frac{3{,}6l\omega}{2\pi} = \frac{3{,}6 \cdot 2 \cdot 9{,}07}{2 \cdot 3{,}14} = 10{,}4 \text{ км/ч};$$

– неподрессоренной массы

$$\nu = \omega'_{\text{к}};\ \nu = \frac{2\pi V_{\text{а.в}}}{3{,}6l} = \omega'_{\text{к}}, \text{ откуда}$$

$$V_{\text{а.в}} = \frac{3{,}6l\omega'_{\text{к}}}{2\pi} = \frac{3{,}6 \cdot 2 \cdot 62{,}85}{2 \cdot 3{,}14} = 72 \text{ км/ч}.$$

Ответ: $V_{\text{а.н}} = 10{,}4$ км/ч; $V_{\text{а.в}} = 72$ км/ч.

Пример 8.9. Легковой автомобиль движется со скоростью 50 км/ч по дороге с асфальтобетонным покрытием, корреляционная функция микропрофиля которого

$$R_q(l_S) = 0{,}64\left[0{,}65e^{-0{,}25|l_S|} + 0{,}35e^{-0{,}6|l_S|}\cos(0{,}4|l_S|)\right] \text{ см}^2.$$

Конструктивные параметры задней подвески автомобиля: подрессоренная и неподрессоренная массы 0,86 т и 0,15 т соответственно; жёсткости рессор и шин 45 кН/м и 400 кН/м соответственно; коэффициенты сопротивления амортизаторов и демпфирования шин 7 кН·с/м и 0,3 кН·с/м соответственно. Определить спектральную плотность перемещений подрессоренной массы при частоте воздействия 7 рад/с.

Дано: $V_{\text{а}} = 50$ км/ч; $D_q = 0{,}64$ см^2; $\alpha_{01} = 0{,}25$ 1/м; $\alpha_{02} = 0{,}6$ 1/м; $\beta_{01} = 0{,}4$ 1/м; $A_1 = 0{,}65$; $A_2 = 0{,}35$; $m_{\text{п}} = 0{,}86$ т; $m_{\text{н}} = 0{,}15$ т; $c_{\text{р1}} = 45$ кН/м; $c_{\text{ш1}} = 400$ кН/м; $k_{\text{а}} = 7$ кН·с/м; $k_{\text{ш}} = 0{,}3$ кН·с/м; $\nu = 7$ рад/с.

Определить: $S_z(7)$.

Решение: Коэффициенты в формуле квадрата модуля частотной характеристики перемещений подрессоренной массы:

$$A = \left\{c_{\text{р}}c_{\text{ш}} - \left[m_{\text{п}}\left(c_{\text{р}} + c_{\text{ш}}\right) + k_{\text{а}}k_{\text{ш}} + m_{\text{н}}c_{\text{р}}\right]\nu^2 + m_{\text{п}}m_{\text{н}}\nu^4\right\}^2 +$$

$$+ \left\{\left(k_{\text{а}}c_{\text{ш}} + k_{\text{ш}}c_{\text{р}}\right)\nu - \left[m_{\text{п}}\left(k_{\text{а}} + k_{\text{ш}}\right) + m_{\text{н}}k_{\text{а}}\right]\nu^3\right\}^2 =$$

$$= \left\{45 \cdot 400 - \left[0{,}86(45 + 400) + 7 \cdot 0{,}3 + 0{,}15 \cdot 45\right] \cdot 7^2 + 0{,}86 \cdot 0{,}15 \cdot 7^4\right\}^2 +$$

$$+ \left\{(7 \cdot 400 + 0{,}3 \cdot 45) \cdot 7 - \left[0{,}86(7 + 0{,}3) + 0{,}15 \cdot 7\right] \cdot 7^3\right\}^2 = 8547573;$$

$$B = \left(c_{\text{р}} c_{\text{ш}} - k_{\text{а}} k_{\text{ш}} \nu^2\right)^2 + \left(k_{\text{а}} c_{\text{ш}} + k_{\text{ш}} c_{\text{р}}\right)^2 \nu^2 = \left(45 \cdot 400 - 7 \cdot 0{,}3 \cdot 7^2\right)^2 +$$

$$+ \left(7 \cdot 400 + 0{,}3 \cdot 45\right)^2 \cdot 7^2 = 708179519 .$$

Квадрат модуля частотной характеристики перемещений подрессоренной массы

$$\left|W_z(i\nu)\right|^2 = \left|W_z(7i)\right|^2 = \frac{B}{A} = \frac{708179519}{8547573} = 82{,}85 .$$

Коэффициенты в формуле спектральной плотности воздействия микропрофиля дороги на автомобиль

$$D_q = 0{,}64 \text{ см}^2;\ A_1 = 0{,}65;\ A_2 = 0{,}35;\ \alpha_1 = \frac{V_{\text{а}}}{3{,}6}\alpha_{01} = \frac{50}{3{,}6} \cdot 0{,}25 = 3{,}47 \text{ с}^{-1};$$

$$\alpha_2 = \frac{V_{\text{а}}}{3{,}6}\alpha_{02} = \frac{50}{3{,}6} \cdot 0{,}6 = 8{,}33 \text{ с}^{-1};\ \beta_1 = \frac{V_{\text{а}}}{3{,}6}\beta_{01} = \frac{50}{3{,}6} \cdot 0{,}4 = 5{,}56 \text{ с}^{-1}.$$

Спектральная плотность воздействия микропрофиля дороги на автомобиль

$$S_q(\nu) = \frac{2D_q}{\pi}\left[\frac{A_1\alpha_1}{\nu^2 + \alpha_1^2} + \frac{A_2\alpha_2\left(\nu^2 + \alpha_2^2 + \beta_1^2\right)}{\left(\nu^2 + \alpha_2^2 - \beta_1^2\right)^2 + 4\alpha_2^2\beta_1^2}\right];$$

$$S_q(7) = \frac{2 \cdot 0{,}64}{3{,}14}\left[\frac{0{,}65 \cdot 3{,}47}{7^2 \cdot 3{,}47^2} + \frac{0{,}35 \cdot 8{,}33\left(7^2 + 8{,}33^2 + 5{,}56^2\right)}{\left(7^2 + 8{,}33^2 - 5{,}56^2\right)^2 + 4 \cdot 8{,}33^2 \cdot 5{,}56^2}\right] =$$

$$= 1{,}821 \text{ см}^2 \cdot \text{с}.$$

Спектральная плотность перемещений подрессоренной массы

$$S_z(\nu) = \left|W_z(i\nu)\right|^2 S_q(\nu);\ S_z(7) = \left|W_z(7i)\right|^2 S_q(7) = 82{,}85 \cdot 1{,}821 = 151 \text{ см}^2\cdot\text{с}.$$

Ответ: $S_z(7) = 151$ см²·с.

Пример 8.10. Средние квадратические величины вертикальных виброускорений на сиденье водителя в первых пяти октавных полосах частот равны 0,71; 1,24; 0,53; 0,31; 1,51 м/с² соответственно. Весовые коэффициенты чувствительности человека к вертикальным виброускорениям 0,5; 0,71; 1; 1; 0,5 соответственно. Определить корректированное по частоте среднее квадратическое виброускорение на сиденье водителя.

Дано: $\sigma_{\ddot{z}1} = 0{,}71$ м/с²; $\sigma_{\ddot{z}2} = 1{,}24$ м/с²; $\sigma_{\ddot{z}3} = 0{,}53$ м/с²; $\sigma_{\ddot{z}4} = 0{,}31$ м/с²; $\sigma_{\ddot{z}5} = 1{,}51$ м/с²; $k_1 = 0{,}5$; $k_2 = 0{,}71$; $k_3 = 1$; $k_4 = 1$; $k_5 = 0{,}5$.

Определить: $\sigma_{\ddot{z}}$.

Решение: Корректированное по частоте среднее квадратическое виброускорение на сиденье водителя

$$\sigma_{\ddot{z}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(k_i\sigma_{\ddot{z}i}\right)^2} = \sqrt{\begin{matrix}(0{,}5\cdot 0{,}71)^2 + (0{,}71\cdot 1{,}24)^2 + (1\cdot 0{,}53)^2 + \\ + (1\cdot 0{,}31)^2 + (0{,}5\cdot 1{,}51)^2\end{matrix}} = 1{,}36 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $\sigma_{\ddot{z}} = 1{,}36$ м/с^2.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 8.1. На рис. 8.1 приведена упругая характеристика подвески легкового автомобиля. Статическая нагрузка на подвеску для автомобиля без пассажиров и с пассажирами 3,9 кН и 4,78 кН соответственно. Определить для автомобиля без пассажиров и с пассажирами условный статический прогиб, жёсткость, ход сжатия, ход отбоя и коэффициент динамичности подвески.

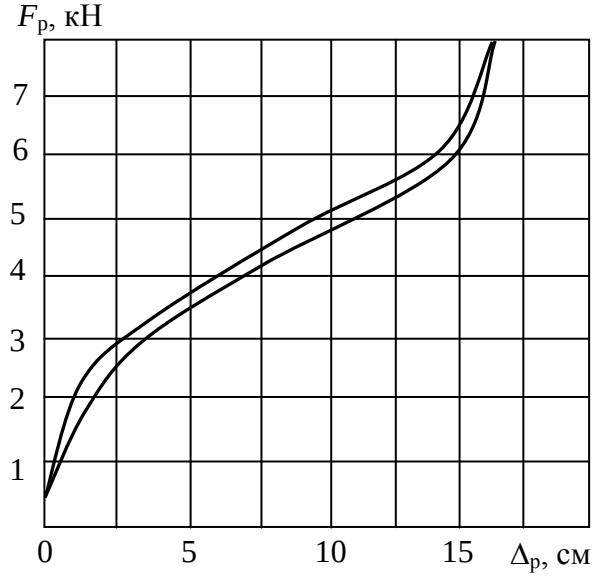


Рис. 8.1. Упругая характеристика подвески легкового автомобиля

Задача 8.2. На рис. 8.2 приведена упругая характеристика шины 7.50 – 20. Определить при нормальной статической нагрузке 6 кН статический прогиб и нормальную жёсткость шины и оценить, во сколько раз изменятся эти параметры, если нормальная нагрузка на шину уменьшится в 5 раз.

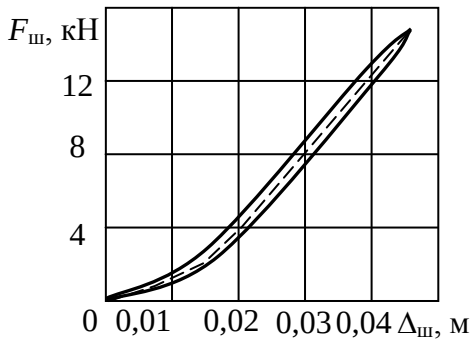


Рис. 8.2. Упругая характеристика шины 7.50–20

Задача 8.3. На рис. 8.3 показана характеристика амортизатора грузового автомобиля. Определить средний коэффициент сопротивления амортизатора и отношение коэффициентов сопротивления на ходах отбоя и сжатия.

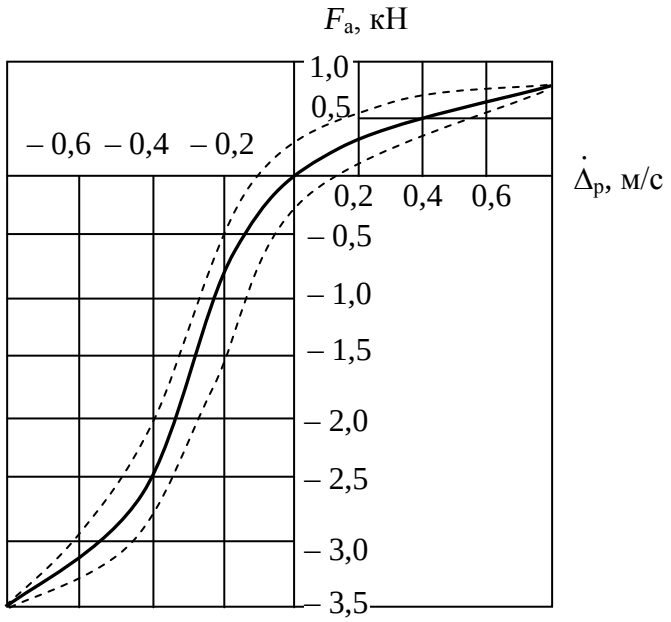


Рис. 8.3. Нагрузочная характеристика телескопического амортизатора

Задача 8.4. Автомобиль переезжает единичную неровность длиной 2 м и высотой 10 см со скоростью 36 км/ч. Определить высоту и скорость вертикального перемещения точки контакта колеса с неровностью на расстоянии 0,2 м от начала неровности и рассчитать, во сколько раз изменятся эти параметры, когда точка контакта удалится от начала неровности на 0,6 м.

Задача 8.5. Автомобиль движется по участку дороги с периодически чередующимися неровностями длиной 1 м со скоростью 36 км/ч. Определить циклическую частоту, путевую частоту, частоту воздействия неровностей на автомобиль и время переезда одной неровности и оценить, во

сколько раз изменятся эти показатели, если длина неровности увеличится, а скорость уменьшится в два раза.

Задача 8.6. Микропрофиль дороги с асфальтовым покрытием аппроксимируется нормированной корреляционной функцией

$$R_q^n(l_S) = 0{,}85e^{-0{,}2|l_S|} + 0{,}15e^{-0{,}05|l_S|}\cos(0{,}6|l_S|).$$

Определить значение этой функции при корреляционном смещении, равном 4 м, и рассчитать, во сколько раз изменится её значение при корреляционном смещении, равном 8 м.

Задача 8.7. Автомобиль движется со скоростью 40 км/ч по дороге с асфальтовым покрытием, микропрофиль которой аппроксимируется нормированной корреляционной функцией, приведённой в задаче 8.6. Определить временное смещение, значения коэффициентов и величину нормированной корреляционной функции воздействия микропрофиля дороги на автомобиль при корреляционном смещении, равном 6 м.

Задача 8.8. Автомобиль движется по булыжной дороге со скоростью 10 км/ч. Корреляционная функция микропрофиля дороги

$$R_q(l_S) = 0{,}084e^{-0{,}45|l_S|}\ \text{см}^2.$$

Определить спектральную плотность воздействия микропрофиля дороги на автомобиль при частоте 1 рад/с и оценить, во сколько раз измениться её величина при частоте воздействия 5 рад/с.

Задача 8.9. Автомобиль движется со скоростью 10 км/ч по булыжной дороге, корреляционная функция микропрофиля которой аппроксимируется выражением, приведённым в задаче 8.8. Определить спектральную плотность воздействия микропрофиля дороги на автомобиль при частоте 3 рад/с и найти, во сколько раз изменится величина спектральной плотности воздействия при скорости движения автомобиля 15 км/ч.

Задача 8.10. У грузового автомобиля жёсткость передних рессор 460 кН/м, жёсткость задних основных и дополнительных рессор 750 кН/м и 322 кН/м соответственно; жёсткость шин передних и задних колёс 1200 кН/м и 1340 кН/м соответственно. Определить приведённые жёсткости передней и задней подвесок при движении автомобиля без груза и с полной нагрузкой и рассчитать, на сколько процентов отличаются приведённые жёсткости передней и задней подвесок от жёсткости рессор.

Задача 8.11. Передняя независимая подвеска легкового автомобиля имеет направляющее устройство на двух поперечных рычагах и упругий элемент – витую цилиндрическую пружину, опирающуюся на нижний рычаг подвески. Жёсткость одной пружины подвески 136 кН/м; расстояния от шарнира нижнего рычага подвески до центра контакта колеса с опорной поверхностью и до центра опоры пружины 42 см и 17 см соответственно; жёсткость одной шины переднего колеса 206 кН/м. Пружина

установлена в подвеске вертикально. Определить приведённую жёсткость передней подвески.

Задача 8.12. У легкового автомобиля подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю ось, 338 кг; жёсткость задней подвески 36 кН/м; жёсткость шин задних колёс 380 кН/м. В начальный момент времени подрессоренная масса поднята вверх на 0,03 м и отпущена с начальной скоростью 0,05 м/с. Определить вертикальные перемещение, скорость, ускорение массы через 0,3 с после начала её колебаний.

Задача 8.13. Грузовой автомобиль имеет следующие конструктивные параметры задней подвески: подрессоренная масса в снаряжённом состоянии и при полной нагрузке 1,23 т и 6 т соответственно; жёсткость основных и дополнительных рессор 714 кН/м и 157 кН/м, шин 3236 кН/м. Определить отношение частот собственных колебаний подрессоренной массы автомобиля в снаряжённом состоянии и при полной нагрузке.

Задача 8.14. У городского автобуса подрессоренная масса, приходящаяся на переднюю ось, при движении без пассажиров и с пассажирами 3,12 т и 4,44 т соответственно; жёсткость передней подвески и шин передних колёс 297 кН/м и 2670 кН/м соответственно. Определить, на сколько процентов отличаются максимальные ускорения подрессоренной массы автобуса при движении без пассажиров и с пассажирами, и рассчитать жёсткость передней подвески при движении без пассажиров, при которой частота собственных колебаний подрессоренной массы будет равна частоте собственных колебаний при движении с пассажирами.

Задача 8.15. Статические прогибы передней и задней подвесок легкового автомобиля при движении с пассажирами 14,8 см и 12,5 см соответственно; при движении без пассажиров 12,0 см и 8,2 см соответственно. Определить отношения частот собственных колебаний подрессоренных масс, приходящихся на переднюю и заднюю подвески, при движении с пассажирами и без пассажиров.

Задача 8.16. Подрессоренные массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси легкового автомобиля, 425 кг и 555 кг соответственно; база 2,16 м; жёсткости передней и задней подвесок 33 кН/м и 40 кН/м соответственно; жёсткости шин передних и задних колёс 138 кН/м и 157 кН/м соответственно; радиус инерции подрессоренной массы относительно поперечной оси 0,95 м. Определить низкую и высокую собственные частоты колебаний подрессоренной массы автомобиля.

Задача 8.17. У грузового автомобиля подрессоренная масса 12,565 т; база 3,95 м; расстояние от центра подрессоренной массы до передней оси 2,66 м; момент инерции подрессоренной массы относительно поперечной оси 45360 кг·м^2; приведённые жёсткости передней и задней подвесок 285 кН/м и 433 кН/м соответственно. Определить собственные частоты колебаний

подрессоренной массы и оценить, на сколько процентов они отличаются от парциальных частот.

Задача 8.18. Подрессоренная масса автобуса 4368 кг; расстояния от центра подрессоренной массы до передней и задней осей 1,91 м и 1,85 м соответственно; радиус инерции относительно поперечной оси 2 м; жёсткость передней и задней подвесок 126 кН/м и 200 кН/м соответственно; жёсткость шин передних и задних колёс 665 кН/м. определить частоты собственных колебаний подрессоренной массы и рассчитать, на сколько процентов они отличаются от парциальных частот.

Задача 8.19. При испытаниях легкового автомобиля определены моменты инерции его подрессоренной массы относительно поперечной оси, которые равны 1410 кг·м^2 и 856 кг·м^2 для автомобиля с пассажирами и без пассажиров соответственно. База автомобиля 2,4 м; подрессоренные массы, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля с пассажирами, 590 кг и 605 кг, без пассажиров 295 кг и 385 кг соответственно. Определить коэффициенты распределения подрессоренной массы автомобиля с пассажирами и без пассажиров.

Задача 8.20. Легковой автомобиль имеет следующие конструктивные параметры передней подвески: подрессоренная и неподрессоренная массы 1210 кг и 95 кг соответственно; жёсткости подвески и шин 55,2 кН/м и 400 кН/м соответственно. Определить частоты собственных колебаний системы и рассчитать, на сколько процентов они отличаются от парциальных частот. Колебания подрессоренной массы на передней и задней подвесках происходят независимо друг от друга.

Задача 8.21. У междугородного автобуса без пассажиров подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю подвеску, 3,57 т; неподрессоренная масса 1,3 т; жёсткость задней подвески и шин задних колёс 510 кН/м и 2800 кН/м соответственно. Определить низкую и высокую собственные частоты колебаний подрессоренной массы и оценить, на сколько процентов они отличаются от парциальных частот. Коэффициент распределения подрессоренной массы $\varepsilon_y = 1$.

Задача 8.22. Подрессоренная и неподрессоренная массы задней подвески грузового автомобиля при полной нагрузке 3365 кг и 580 кг соответственно; жёсткости основных и дополнительных рессор задней подвески и шин задних колёс 636 кН/м, 138 кН/м и 2160 кН/м соответственно. Колебания подрессоренной массы на передней и задней подвесках происходят независимо друг от друга. Определить частоты собственных колебаний системы.

Задача 8.23. Конструктивные параметры передней подвески грузового автомобиля без груза: подрессоренная и неподрессоренная массы 2.9 т и 1,2 т соответственно; жёсткости подвески и шин 460 кН/м и 1200 кН/м соответственно. Коэффициент распределения подрессоренной массы $\varepsilon_y = 1$.

Определить низкую и высокую частоты собственных колебаний системы и найти, на сколько процентов они отличаются от частот собственных колебаний на передней подвеске автомобиля с полной нагрузкой, у которого подрессоренная масса, приходящаяся на переднюю подвеску, 3,28 т.

Задача 8.24. У легкового автомобиля с независимой подвеской на поперечных рычагах масса, приходящаяся на колесо, 394 кг; жёсткость подвески, приведённая к колесу, 22,3 кН/м; коэффициент апериодичности 0,23; скорость вертикальных перемещений колеса 0,68 м/с; передаточное число подвески 1,7. Амортизатор установлен в подвеске вертикально. Определить силу сопротивления амортизатора.

Задача 8.25. Подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю ось легкового автомобиля, была отклонена от положения статического равновесия на 5 см и отпущена с начальной скоростью 35 см/с. Величина подрессоренной массы 1238 кг; жёсткость подвески 52 кН/м; коэффициент сопротивления амортизаторов 3,13 кН·с/м. Характеристики подвески и амортизаторов линейные. Определить частоту собственных затухающих колебаний и ускорение подрессоренной массы в начальный момент времени.

Задача 8.26. У легкового автомобиля подрессоренная масса, приходящаяся на переднюю ось, 578 кг; жёсткость передней подвески 26,3 кН/м; коэффициент сопротивления амортизаторов 2,38 кН·с/м. Определить коэффициент относительного затухания колебаний и рассчитать, во сколько раз изменится его величина при движении автомобиля без пассажиров, когда подрессоренная масса уменьшится до 435 кг.

Задача 8.27. Грузовой автомобиль имеет следующие параметры передней подвески: подрессоренная масса 3970 кг; жёсткость рессор 510 кН/рад; коэффициент относительного затухания колебаний 0,2. Определить коэффициент сопротивления амортизатора передней подвески.

Задача 8.28. При свободных затухающих колебаниях подрессоренной массы автомобиля за один период поглощено 85% энергии колебаний. Определить относительный коэффициент затухания колебаний и рассчитать амплитуду перемещения подрессоренной массы в конце периода, если в начале периода она равна 5 см.

Задача 8.29. Подрессоренная масса грузового автомобиля повышенной проходимости, приходящаяся на переднюю подвеску, 2170 кг; неподрессоренная масса 560 кг; жёсткость подвески и шин 246 кН/м и 800 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 11,54 кН·с/м. Колебания подрессоренной и неподрессоренной масс происходят независимо друг от друга. Определить коэффициенты апериодичности колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля.

Задача 8.30. У легкового автомобиля подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю подвеску, 574 кг; неподрессоренная масса 106 кг; жёсткость шин 404 кН/м; относительные коэффициенты затухания колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс 0,15 и 0,106 соответственно. Колебания подрессоренной и неподрессоренной масс происходят независимо друг от друга. Определить жёсткость подвески и коэффициент сопротивления амортизаторов.

Задача 8.31. Передняя подвеска грузового автомобиля имеет следующие конструктивные параметры: подрессоренная и неподрессоренная массы 2100 кг и 475 кг соответственно; жёсткости подвески и шин 260 кН/м и 1286 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 5,8 кН·с/м. Колебания подрессоренной и неподрессоренной масс происходят независимо друг от друга. Определить коэффициенты поглощения энергии в подвеске при колебаниях подрессоренной и неподрессоренной масс.

Задача 8.32. Подрессоренная масса легкового автомобиля с пассажирами, приходящаяся на заднюю ось, 830 кг; неподрессоренная масса 150 кг; жёсткости подвески и шин 47,4 кН/м и 384 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 2,7 кН·с/м. Определить относительные коэффициенты затухания колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс и оценить, на сколько процентов изменятся их величины у автомобиля без пассажиров, подрессоренная масса которого, приходящаяся на заднюю ось, равна 560 кг.

Задача 8.33. Легковой автомобиль движется по участку дороги с периодически чередующимися неровностями косинусоидального профиля длиной 5 м и максимальной высотой 1,2 см со скоростью 21,6 км/ч. Подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю подвеску,680 кг; жёсткость подвески и шин 42,5 кН/м и 412 кН/м соответственно; коэффициент сопротивления амортизаторов 2,12 кН·с/м. Определить перемещение подрессоренной массы через 1 с после затухания её свободных колебаний. Коэффициент распределения подрессоренной массы $\varepsilon_y = 1$; влиянием колебаний неподрессоренной массы и демпфирования в шинах на перемещения подрессоренной массы пренебречь.

Задача 8.34. По условию задачи 8.33 определить перемещение подрессоренной массы при движении автомобиля с вдвое большей скоростью и оценить, во сколько раз изменится его величина по сравнению со случаем движения с первоначальной скоростью.

Задача 8.35. По условию задачи 8.34 найти, во сколько раз изменится величина перемещения подрессоренной массы, если относительный коэффициент затухания колебаний возрастёт в два раза.

Задача 8.36. По условию задачи 8.35 определить, во сколько раз изменится величина перемещения подрессоренной массы при движении автомобиля со скоростью 21,6 км/ч по периодически чередующимся неровностям длиной 10 м.

Задача 8.37. По условию задачи 8.36 найти, во сколько раз изменится амплитуда перемещений подрессоренной массы автомобиля без пассажиров. Подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю ось, при движении без пассажиров 380 кг.

Задача 8.38. Грузовой автомобиль движется по периодически чередующимся неровностям длиной 3,3 м. Конструктивные параметры задней подвески: подрессоренная и неподрессоренная массы 3030 кг и 580 кг соответственно; жёсткости основных и дополнительных рессор 636 кН/м и 135 кН/м, шин задних колёс 2000 кН/м. Сопротивления в подвеске и шинах не учитывать. Определить скорости движения автомобиля, при которых возникают резонансные колебания масс автомобиля.

Задача 8.39. Легковой автомобиль движется с пассажирами по опорной поверхности с периодически чередующимися неровностями со скоростью 50 км/ч. Конструктивные параметры передней подвески: подрессоренная и неподрессоренная массы 1209 кг и 95 кг; жёсткости подвески и шин 55,2 кН/м и 400 кН/м; коэффициент сопротивления амортизаторов 3,27 кН·с/м. Колебания подрессоренной и неподрессоренной масс происходят независимо друг от друга. Определить длины неровностей, при которых возникают резонансные колебания подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля.

Задача 8.40. Легковой автомобиль, конструктивные параметры которого приведены в задаче 8.39, движется по дороге автополигона с периодически чередующимися неровностями длиной 2,8 м и высотой 1 см со скоростями 16,5 км/ч и 107, 6 км/ч. Определить амплитуды вертикальных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс вынужденных колебаний автомобиля.

Задача 8.41. По условиям задач 8.39 и 8.40 определить, во сколько раз изменятся перемещения подрессоренной и неподрессоренной масс автомобиля без пассажиров. Подрессоренная масса автомобиля без пассажиров, приходящаяся на переднюю ось, 1057 кг.

Задача 8.42. Грузовой автомобиль движется по булыжной мощёной дороге, корреляционная функция микропрофиля которой

$$R_q(l_S) = 1{,}21e^{-0{,}45|l_S|} \text{ см}^2.$$

Конструктивные параметры задней подвески автомобиля: подрессоренная и неподрессоренная массы 3000 кг и 600 кг соответственно; жёсткости подвески и шин 180 кН/м и 1200 кН/м соответственно; коэффициенты

сопротивления амортизаторов и демпфирования шин 11,6 кН·с/м и 1,14 кН·с/м соответственно. Определить спектральную плотность перемещений подрессоренной массы при скорости движения 30 км/ч и частоте воздействия 8 рад/с.

Задача 8.43. По условию задачи 8.42 определить спектральную плотность перемещений неподрессоренной массы при скорости движения 45 км/ч и частоте воздействия 50 рад/с.

Задача 8.44. По условию задачи 8.43 определить спектральную плотность прогиба рессор подвески при скорости движения 60 км/ч и частоте воздействия 4 рад/с.

Задача 8.45. По условию задачи 8.44 определить спектральную плотность нормальной деформации шин при скорости движения 30 км/ч и частоте воздействия 30 рад/с.

Задача 8.46. По условию задачи 8.45 определить спектральную плотность скорости относительных перемещений подрессоренной и неподрессоренной масс при скорости движения 45 км/ч и частоте воздействия 15 рад/с.

Задача 8.47. По условию задачи 8.46 определить спектральную плотность ускорений подрессоренной массы при частоте воздействия 45 рад/с.

Задача 8.48. Средние квадратические величины вертикальных виброускорений на сиденье водителя в 1…5 октавных полосах частот 0,94; 0,91; 0,48; 0,51; 1,31 м/с^2 соответственно; весовые коэффициенты чувствительности человека к вертикальным виброускорениям 0,5; 0,71; 1; 1; 0,5 соответственно. Определить корректированное по частоте среднее квадратическое вертикальное виброускорение на сиденье водителя.

Задача 8.49. Средние квадратические величины горизонтальных продольных виброускорений на сиденье водителя в 1…5 октавных полосах частот 0,9; 1,1; 0,45; 0,28; 0,11 м/с^2; весовые коэффициенты чувствительности человека к горизонтальным виброускорениям 1; 1; 0,5; 0,25; 0,125 соответственно. Определить корректированное по частоте среднее квадратическое горизонтальное продольное виброускорение на сиденье водителя.

Задача 8.50. Средние квадратические величины горизонтальных поперечным виброускорений на сиденье водителя в 1…5 октавных полосах частот 1,05; 0,95; 0,53; 0,24; 0,13 м/с^2; весовые коэффициенты чувствительности человека к горизонтальным виброускорениям приведены в условии задачи 8.49. Определить корректированное по частоте среднее квадратическое горизонтальное поперечное виброускорение на сиденье водителя.

9. ПРОХОДИМОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Профильная проходимость

Продольный радиус проходимости (м):

– общий случай при $n \neq 0$

$$R_{\text{пр}} = 0{,}5E + \sqrt{0{,}25E^2 + H}\,, \tag{9.1}$$

где $E = \dfrac{0{,}25L^2 + h_{\text{к}1}^2 - n^2 - 2r_{\text{с}}h_{\text{к}1}}{2h_{\text{к}1}}$; $H = \dfrac{n^2\left(h_{\text{к}1} - r_{\text{с}}\right)}{2h_{\text{к}1}}$;

– частный случай при $n = 0$

$$R_{\text{пр}} = E = \frac{0{,}25L^2 + h_{\text{к}1}^2 - 2r_{\text{с}}h_{\text{к}1}}{2h_{\text{к}1}}; \tag{9.2}$$

– частный случай при $n = 0$ и $r_{\text{с}} << L$

$$R_{\text{пр}} = \frac{L^2 + 4h_{\text{к}1}^2}{8h_{\text{к}1}}, \tag{9.3}$$

где L – база, м; n и $h_{\text{к}1}$ – расстояния от наиболее низко расположенной точки шасси внутри базы автомобиля до середины базы и до опорной поверхности соответственно, м; $r_{\text{с}}$ – свободный радиус колёс, м.

Поперечный радиус проходимости (м):

$$R_{\text{поп}} = \frac{B_{\text{вн}}^2 + 4h_{\text{к}2}}{8h_{\text{к}2}}, \tag{9.4}$$

где $B_{\text{вн}}$ – расстояние между внутренними поверхностями шин колёс моста, м; $h_{\text{к}2}$ – расстояние от самой нижней точки моста до опорной поверхности, м.

Высота вертикальной стенки (м):

– преодолеваемой ведомыми эластичными колёсами двухосного автомобиля,

$$h_{\text{с.э1max}} = r_{\text{с}}\left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{\text{ш}}}{r_{\text{с}}}}{\sqrt{1 + K_1^2}}\right), \tag{9.5}$$

где $K_1 = \frac{(\varphi_x - f)G_{\text{а}2}}{G_{\text{а}1}}$;

– преодолеваемой ведущими эластичными колёсами двухосного неполноприводного автомобиля,

$$h_{\text{с.э 2max}} = r_{\text{с}}\left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{\text{ш}}}{r_{\text{с}}}}{\sqrt{1 + K_2^2}}\right), \tag{9.6}$$

где $K_2 = \frac{\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}1} - fG_{\text{а}2}}{G_{\text{а}1} + f\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}2}}$;

– преодолеваемой эластичными ведущими колёсами одного из мостов полноприводного двухосного автомобиля,

$$h_{\text{с.э 3max}} = r_{\text{с}}\left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{\text{ш}}}{r_{\text{с}}}}{\sqrt{1 + K_3^2}}\right), \tag{9.7}$$

где $K_3 = \frac{\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}1} + (\varphi_x - f)G_{\text{а}2}}{G_{\text{а}1} + f\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}2} - \varphi_{\text{с}}\varphi_x G_{\text{а}2}}$.

Динамические нормальные нагрузки, обусловленные действием реактивных моментов $T_{\Sigma \text{р}i}$ на ведущих мостах:

– на передние колёса

$$G_{\text{а1д}} = G_{\text{а}1} - \Delta G_{\text{р}i}; \tag{9.8}$$

– на задние колёса

$$G_{\text{а2д}} = G_{\text{а}2} + \Delta G_{\text{р}i}. \tag{9.9}$$

Дополнительные нормальные нагрузки:

– при преодолении стенки передними ведомыми колёсами

$$\Delta G_{\text{р}1} = \frac{T_{\Sigma\text{р}1}}{L} = \frac{\varphi_x G_{\text{а}2} r_{\text{д}}}{L}; \qquad (9.10)$$

– при преодолении стенки ведущими колёсами переднеприводного автомобиля

$$\Delta G_{\text{р}2} = \frac{T_{\Sigma\text{р}2}}{L} = \frac{\varphi_{\text{с}} G_{\text{а}1} r_{\text{д}}}{L}; \qquad (9.11)$$

– при преодолении стенки ведущими колёсами полноприводного автомобиля

$$\Delta G_{\text{р}3} = \frac{T_{\Sigma\text{р}3}}{L} = \frac{(\varphi_{\text{с}} G_{\text{а}1} + \varphi_x G_{\text{а}2}) r_{\text{д}}}{L}, \qquad (9.12)$$

где $r_{\text{с}}$ – свободный радиус колёс, м; $\Delta_{\text{ш}}$ – радиальная деформация шин на кромке стенки, м; φ_x – коэффициент продольного сцепления шин ведущих колёс с горизонтальным участком опорной поверхности; f – коэффициент сопротивления качению ведущих колёс; $G_{\text{а}1}$ и $G_{\text{а}2}$ – веса, приходящиеся на передние и задние колёса, соответственно, Н; $\varphi_{\text{с}}$ – коэффициент сцепления ведущих колёс с кромкой стенки; L – база автомобиля, м; $r_{\text{д}}$ – динамический радиус ведущих колёс, м.

2. Опорная проходимость

Сцепной вес (сцепная масса) для автомобиля, неподвижно стоящего на горизонтальной опорной поверхности [Н (кг)]:

– переднеприводного

$$G_{\text{сц}1} = G_{\text{а}1} = \frac{G_{\text{а}} b}{L}; \; m_{\text{сц}1} = m_{\text{а}1} = \frac{m_{\text{а}} b}{L}; \qquad (9.13)$$

– заднеприводного

$$G_{\text{сц}2} = G_{\text{а}2} = \frac{G_{\text{а}} a}{L}; \; m_{\text{сц}2} = m_{\text{а}2} = \frac{m_{\text{а}} a}{L}; \qquad (9.14)$$

– полноприводного

$$G_{\text{сц}} = G_{\text{а}}; \; m_{\text{сц}} = m_{\text{а}}. \qquad (9.15)$$

Сцепной вес (сцепная масса) для движущегося автомобиля:

– переднеприводного

$$G_{\text{сц}1} = \frac{m_{R1} G_{\text{а}} b}{L}; \; m_{\text{сц}1} = \frac{m_{R1} m_{\text{а}} b}{L}; \tag{9.16}$$

– заднеприводного

$$G_{\text{сц}2} = \frac{m_{R2} G_{\text{а}} a}{L}; \; m_{\text{сц}2} = \frac{m_{R2} m_{\text{а}} a}{L}; \tag{9.17}$$

– полноприводного

$$G_{\text{сц}} = G_{\text{н}} = G_{\text{а}} \cos\alpha; \; m_{\text{сц}} = m_{\text{а}} \cos\alpha. \tag{9.18}$$

Коэффициент сцепного веса (сцепной массы) автомобиля:
– переднеприводного

$$k_{\text{сц}} = \frac{G_{\text{а}1}}{G_{\text{а}}} = \frac{m_{\text{а}1}}{m_{\text{а}}} = \frac{b}{L}; \tag{9.19}$$

– заднеприводного

$$k_{\text{сц}} = \frac{G_{\text{а}2}}{G_{\text{а}}} = \frac{m_{\text{а}2}}{m_{\text{а}}} = \frac{a}{L}; \tag{9.20}$$

– полноприводного

$$k_{\text{сц}} = \frac{G_{\text{а}}}{G_{\text{а}}} = \frac{m_{\text{а}}}{m_{\text{а}}} = 1. \tag{9.21}$$

Условие устойчивого движения автомобиля на подъёме

$$k_{\text{сц}} \geq \frac{f \cos\alpha + \sin\alpha}{\varphi_x} \approx \frac{f + i}{\varphi_x}, \tag{9.22}$$

где $G_{\text{а}}$ – вес автомобиля, Н; $G_{\text{а}1}$ и $G_{\text{а}2}$ – части веса автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно, Н; $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; $m_{\text{а}1}$ и $m_{\text{а}2}$ – части массы автомобиля, приходящиеся на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно, кг; L – база автомобиля, м; a и b – расстояния от центра масс до передней и задней осей соответственно, м; m_{R1} и m_{R2} – коэффициенты изменения нормальных реакций на передние и задние колёса соответственно; φ_x – минимальный коэффициент продольного сцепления; f – коэффициент сопротивления качению; α – максимальный угол подъёма дороги; i – продольный уклон дороги.

Средние давления колеса на опорную поверхность (Па):

– в контакте с опорной поверхностью

$$p_{\text{к}} = \frac{R_z}{A_{\text{к}}}; \tag{9.23}$$

– по выступам рисунка протектора

$$p_{\text{пр}} = \frac{R_z}{A_{\text{пр}}}; \tag{9.24}$$

коэффициент насыщенности протектора

$$k_{\text{н}} = \frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{к}}}, \tag{9.25}$$

где R_z – нормальная реакция опорной поверхности на колесо, Н; $A_{\text{к}}$ и $A_{\text{пр}}$ – площади контакта колеса с опорной поверхностью и по выступам рисунка протектора соответственно, м^2.

3. Рабочие процессы в трансмиссии автомобиля

Обобщённый коэффициент продольного сцепления колёс с опорной поверхностью при различных конструкциях межколёсных дифференциалов ведущего моста:

– простой конический симметричный

$$\varphi_{x\text{об}} = \varphi_{x\min}; \tag{9.26}$$

– повышенного трения, или самоблокирующийся

$$\varphi_{x\text{об}} = \frac{\varphi_{x\min}}{2(1 - k_{\text{б}})}; \tag{9.27}$$

– блокированный

$$\varphi_{x\text{об}} = \frac{\varphi_{x\min} + \varphi_{x\max}}{2}, \tag{9.28}$$

где $\varphi_{x\min}$ и $\varphi_{x\max}$ – минимальный и максимальный коэффициенты продольного сцепления колёс ведущего моста; $k_{\text{б}}$ – коэффициент блокировки дифференциала.

Циркуляция мощности в трансмиссии полноприводного автомобиля с блокированным приводом ведущих колёс

Колёса автомобиля жёсткие, $r_{к1} > r_{к2}$

Уравнение силового баланса (Н)

$$\varphi_x \sum R_{z1} = F_f + F_i + F_в + \sum R_{x2} . \qquad (9.29)$$

Уравнение мощностного баланса (кВт)

$$P_1 = P_f + P_i + P_в + P_б + P_2 . \qquad (9.30)$$

Мощность, затрачиваемая на буксование передних ведущих колёс (кВт),

$$P_б = \frac{\varphi_x \sum R_{z1} (r_{к1} - r_{к2}) \omega_к}{1000} . \qquad (9.31)$$

Мощность, циркулирующая в замкнутом контуре полноприводного автомобиля (кВт),

$$P_2 = \frac{\left(\varphi_x \sum R_{z1} - F_f - F_i - F_в\right) r_{к2}\, \omega_к}{1000} . \qquad (9.32)$$

Колёса автомобиля эластичные, $r_{к1} > r_{к2}$

Тяговые силы на колёсах (Н):

– передних

$$F_{т1} = \frac{\lambda_{T2} r_{к2}\, F_д + \Delta r_к}{\lambda_{T1} r_{к1} + \lambda_{T2} r_{к2}} ; \qquad (9.33)$$

– задних

$$F_{т2} = \frac{\lambda_{T1} r_{к1}\, F_д - \Delta r_к}{\lambda_{T1} r_{к1} + \lambda_{T2} r_{к2}} ; \qquad (9.34)$$

где $r_{к1}$ и $r_{к2}$ – радиусы передних и задних колёс, м; φ_x – коэффициент продольного сцепления ведущих передних колёс с опорной поверхностью; $\sum R_{z1}$ – суммарная нормальная реакция на передние колёса, Н; F_f, F_i, $F_в$ – силы сопротивления качению, подъёму и воздуха соответственно, Н; $\sum R_{x2}$ – суммарная продольная реакция на задние тормозящие колёса, Н; P_1 – мощность, подводимая к передним ведущим колёсам, кВт; P_f, P_i, $P_в$ – мощности, затрачиваемые на преодоление сопротивлений качению, подъёму, воздуха соответственно, кВт; $\omega_к$ – угловая скорость колёс, рад/с; λ_{T1} и λ_{T2} – коэффициенты тангенциальной эластичности шин передних и задних колёс соответственно, м/(кН·м); $F_д$ – сила сопротивления движению автомобиля, Н; $\Delta r_к$ – разность радиусов передних и задних ведомых колёс, м.

4. Движение автомобиля по деформируемой опорной поверхности

Характеристики поверхности движения (МПа):

– нормальное давление колеса на грунт (формула М.Н. Летошнева)

$$p_{г} = ch_{г}^{\mu}; \tag{9.35}$$

– сопротивление грунта сдвигу (закон Кулона – Мора)

$$\tau = c_0 + p_{г}\mathrm{tg}\varphi_0, \tag{9.36}$$

где $h_г$ – нормальная деформация (смятие) грунта, м; c – коэффициент осадки грунта; μ – коэффициент уплотнения грунта; c_0 – коэффициент внутреннего сцепления грунта, МПа; $\mathrm{tg}\varphi_0$ – коэффициент внутреннего трения грунта; φ_0 – угол внутреннего трения (естественного откоса) грунта, град.

Механические характеристики автомобильной шины

Нормальная деформация (нормальный прогиб) шины (формула НАМИ) (м)

$$h_z = \frac{k_z F_z^{3/4}}{1 + p_{в}}, \tag{9.37}$$

где k_z – эмпирический коэффициент, зависящий от конструкции шины, м·МПа/Н$^{3/4}$; F_z – нормальная нагрузка колеса, Н; $p_в$ – давление воздуха в шине, МПа.

Размеры площади контакта эластичного колеса с грунтом:

– ширина (м)

$$b = b_{пр} + \frac{10\left(B_{ш} + h_z - b_{пр}\right)h_{г}}{H_{ш} + h_z + 10h_{г}}; \tag{9.38}$$

– длина (м)

- без учёта деформации грунта

$$l = 2\sqrt{D_{н}h_z - h_z^2} \approx 2\sqrt{D_{н}h_z}; \tag{9.39}$$

- с учётом деформации грунта

$$l = \sqrt{D_{н}\left(h_z + h_{г}\right) - \left(h_z + h_{г}\right)^2} + \sqrt{D_{н}h_z - h_z^2}; \tag{9.40}$$

– площадь без учёта деформации грунта

$$A_к = \frac{\pi b_{пр} l}{4} = \frac{\pi b_{пр}}{2}\sqrt{D_н h_z - h_z^2}\,, \qquad (9.41)$$

где $b_{пр}$ – ширина протектора шины, м; $B_ш$ и $H_ш$ – ширина и высота профиля шины, м; $D_н$ – наружный диаметр шины, м.

Давление в контакте колеса с грунтом, обусловленное деформацией шины (МПа),

$$p_ш = \frac{\pi h_z \left(p_в + k_к p_{в\,max}\right)}{2b_{пр}}\left(\frac{B_ш}{H_ш} + \frac{3H_ш}{2B_ш}\right)\left(1 - \frac{h_z}{B_ш}\right), \qquad (9.42)$$

где $p_в$ – давление воздуха в шине, МПа; $k_к$ – коэффициент, учитывающий жёсткость каркаса шины; $p_{вmax}$ – максимальное давление воздуха в шине при его регулировании, МПа.

Характеристики взаимодействия движущегося колеса с грунтом:

– динамическое давление колеса на грунт (МПа)

$$p_{г.д} = \left(\frac{l \cdot n}{l \cdot n + \dfrac{V}{2\varphi_0}}\right) p_г\,; \qquad (9.43)$$

– динамическое сопротивление грунта сдвигу (МПа)

$$\tau_д = \left(1 - e^{-\frac{s_б l}{E_{сд}}}\right)\left(c_0 + p_{г.д}\,\mathrm{tg}\varphi_0\right); \qquad (9.44)$$

– условия прекращения осадки (погружения) колеса в грунт (МПа):

- неподвижного колеса

$$p_г = p_ш; \qquad (9.45)$$

- движущегося колеса

$$p_{г.д} = p_ш, \qquad (9.46)$$

где l – длина контакта колеса с грунтом, м; n – число проходов колеса по следу; V – скорость автомобиля, м/с; φ_0 – угол внутреннего трения, град; $s_б$ – коэффициент буксования колеса; $E_{сд}$ – модуль сдвига грунта, МПа.

Сопротивление качению колеса

Силы сопротивления качению колеса (Н):

– сила сопротивления качению колеса, обусловленная гистерезисными потерями в шине,

$$F_{f\text{ш}} = \frac{1{,}75 \cdot 10^6 \psi_0 k_\text{к} p_{\text{в}\max} h_z^2 \left(B_\text{ш}^2 + 1{,}5 H_\text{ш}^2\right)\left(B_\text{ш} - 0{,}3 h_z\right)}{H_\text{ш} B_\text{ш}^2}; \qquad (9.47)$$

– сила сопротивления качению колеса от нормальной деформации (смятия) грунта

$$F_{f\text{г}} = \frac{1{,}5 \cdot 10^6 bch_\text{г}^{\mu+1}}{\mu + 1}; \qquad (9.48)$$

– сила сопротивления качению колеса от прилипания грунта

$$F_{f\text{л}} = 0{,}5 \cdot 10^6 p_\text{л} bl; \qquad (9.49)$$

– сила сопротивления качению колеса от сдвига грунта вперёд (бульдозерное сопротивление)

$$F_{f\text{б}} = bh_\text{г}\left[0{,}5\rho_\text{г} g h_\text{г} \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi_0}{2}\right) + 2 \cdot 10^6 c_0 \operatorname{tg}\left(45° + \frac{\varphi_0}{2}\right)\right]; \qquad (9.50)$$

– сила сопротивления качению колеса от экскавационного (дополнительного) погружения его в грунт

$$F_{f\text{э}} = \frac{1{,}5 \cdot 10^6 bc}{\mu + 1}\left[\frac{h_\text{гр}\left(t - t_\text{гр}\right)}{\left(1 - s_\text{б}\right)\left(0{,}5 D_\text{н} - h_z\right) 2 \arcsin\left(\dfrac{t}{D_\text{н}}\right)}\right]^{\mu+1}, \qquad (9.51)$$

где ψ_0 – коэффициент гистерезисных потерь; $k_\text{к}$ – коэффициент, учитывающий жёсткость каркаса; $p_{\text{в}\max}$ – максимальное давление воздуха в шине, МПа; h_z – нормальная деформация шины, м; $B_\text{ш}$ и $H_\text{ш}$ – ширина и высота профиля шины соответственно, м; b – ширина контакта колеса с грунтом, м; c – коэффициент осадки грунта; μ - коэффициент уплотнения грунта; $h_\text{г}$ – нормальная деформация (смятие) грунта, м; $p_\text{л}$ – удельная сила прилипания грунта к колесу, МПа; l – длина контакта колеса с грунтом, м; $\rho_\text{г}$ – плотность грунта, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; φ_0 – угол внутреннего трения грунта, град; c_0 – коэффициент внутреннего сцепления грунта, МПа; $s_\text{б}$ – коэффициент буксования колеса; $h_\text{гр}$, t, $t_\text{гр}$ – высота, шаг и толщина грунтозацепов соответственно, м; $D_\text{н}$ – наружный диаметр колеса, м.

Коэффициент сопротивления качению колеса

$$f = f_{ш} + f_{г.с} = f_{ш} + f_{г} + f_{л} + f_{б} + f_{э} = \frac{F_{fш}}{R_z} + \frac{F_{fг}}{R_z} + \frac{F_{fл}}{R_z} + \frac{F_{fб}}{R_z} + \frac{F_{fэ}}{R_z}, \qquad (9.52)$$

где $f_{ш}$ – коэффициент сопротивления шины качению колеса; $f_{г.с}$ – суммарный коэффициент сопротивления грунта качению колеса; $f_{г}$ – коэффициент сопротивления нормальной деформации (смятия) грунта качению колеса; $f_{л}$ – коэффициент сопротивления качению колеса от прилипания грунта; $f_{б}$ – коэффициент сопротивления качению колеса от сдвига грунта; $f_{э}$ – коэффициент сопротивления качению колеса от экскавационного погружения в грунт; R_z – нормальная реакция опорной поверхности на колесо, Н.

Сцепление колеса с опорной поверхностью

Силы в контакте ведущего колеса с грунтом (Н):

– сила сцепления

$$R_{x\varphi} = \varphi_x R_z; \qquad (9.53)$$

– сила трения выступов протектора

$$F_{тр} = \varphi_р k_н R_z; \qquad (9.54)$$

– сила сопротивления грунта сдвигу

$$F_{сд} = (1 - k_н) A_к \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{s_б l}{E_{сд}}}}\right)(c_0 + p_{г.д} \mathrm{tg}\varphi_0). \qquad (9.55)$$

Тяговая сила ведущего колеса по сцеплению с грунтом

$$F_{т\varphi} = R_{x\varphi} = F_{тр} + F_{сд}. \qquad (9.56)$$

Коэффициент продольного сцепления колеса с грунтом

$$\varphi_x = \frac{R_{x\varphi}}{R_z} = \varphi_р k_н + (1 - k_н)\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{s_б l}{E_{сд}}}}\right)\left(\frac{c_0}{p_{г.д}} + \mathrm{tg}\varphi_0\right), \qquad (9.57)$$

где $\varphi_р$ – коэффициент трения резины протектора шины по грунту; $k_н$ – коэффициент насыщенности протектора; R_z – нормальная реакция опорной поверхности на колесо, Н; $A_к$ – площадь контакта колеса с грунтом, м^2; $s_б$ – коэффициент буксования колеса; l – длина контакта колеса с грунтом, м; $E_{сд}$ – модуль сдвига грунта, МПа; c_0 – коэффициент внутреннего сцепления грунта, МПа; $p_{г.д}$ – динамическое давление колеса на грунт, МПа; $\mathrm{tg}\varphi_0$ – коэффициент внутреннего трения грунта.

Обобщённый показатель опорной проходимости автомобиля

$$\Pi = \mathrm{tg}\alpha_{\max} = k_{\text{сц}}\varphi_{\text{хоб}} - f_{\text{г.с}} - (1 - k_{\text{сц}})f_{\text{ш}}, \qquad (9.58)$$

где $\alpha_{\max}$ – максимальный угол подъёма, преодолеваемый автомобилем, рад или град; $k_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепного веса (сцепной массы); $\varphi_{\text{хоб}}$ – обобщённый коэффициент продольного сцепления ведущих колёс с опорной поверхностью; $f_{\text{г.с}}$ – суммарный коэффициент сопротивления грунта качению колес; $f_{\text{ш}}$ – коэффициент сопротивления шин качению колес.

Примеры решения типовых задач

Пример 9.1. Двухосный полноприводный автомобиль преодолевает вертикальную стенку. Статическое распределение веса по осям 60 : 40; база 3,2 м; свободный радиус колёс 0,38 м; радиальная деформация шин на кромке стенки 30 мм. Коэффициенты сцепления колёс: с кромкой стенки 0,8, с поверхностью дороги 0,65; коэффициент сопротивления качению 0,01. Определить максимальную высоту преодолеваемой автомобилем стенки без учёта реактивных моментов ведущих мостов. На сколько процентов изменится высота преодолеваемой стенки с учётом этих реактивных моментов?

Дано: $G_{\text{а}1} = 0{,}6\,G_{\text{а}}$; $G_{\text{а}2} = 0{,}4\,G_{\text{а}}$; $L = 3{,}2$ м; $r_{\text{с}} = 0{,}38$ м; $\Delta_{\text{ш}} = 30$ мм $= 0{,}03$ м; $\varphi_{\text{с}} = 0{,}8$; $\varphi_x = 0{,}65$; $f = 0{,}01$.

Определить: $h_{\text{с.э3max}}$; $\Delta h_{\text{с.э3max}}$.

Решение: Параметры при статическом распределении веса по осям.

Коэффициенты K_3:

– для передних колёс

$$K_{31} = \frac{\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}1} + (\varphi_x - f)G_{\text{а}2}}{G_{\text{а}1} + f\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}2} - \varphi_{\text{с}}\varphi_x G_{\text{а}2}} = \frac{G_{\text{а}}[0{,}6\varphi_{\text{с}} + 0{,}4(\varphi_x - f)]}{G_{\text{а}}(0{,}6 + 0{,}4\,f\varphi_{\text{с}} - 0{,}4\varphi_{\text{с}}\varphi_x)} =$$

$$= \frac{0{,}6 \cdot 0{,}8 + 0{,}4(0{,}65 - 0{,}01)}{0{,}6 + 0{,}4 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}8 - 0{,}4 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}65} = 1{,}862;$$

– для задних колёс

$$K_{32} = \frac{\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}2} + (\varphi_x - f)G_{\text{а}1}}{G_{\text{а}2} + f\varphi_{\text{с}}G_{\text{а}1} - \varphi_{\text{с}}\varphi_x G_{\text{а}1}} = \frac{G_{\text{а}}[0{,}4\varphi_{\text{с}} + 0{,}6(\varphi_x - f)]}{G_{\text{а}}(0{,}4 + 0{,}6\,f\varphi_{\text{с}} - 0{,}6\varphi_{\text{с}}\varphi_x)} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 0{,}8 + 0{,}6(0{,}65 - 0{,}01)}{0{,}4 + 0{,}6 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}8 - 0{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}65} = 7{,}586.$$

Высота стенки:

– преодолеваемой передними колёсами,

$$h_{\text{с.э31max}} = r_{\text{с}}\left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{\text{ш}}}{r_{\text{с}}}}{\sqrt{1 + K_{31}^2}}\right) = 0{,}38\left(1 - \frac{1 - \frac{0{,}03}{0{,}38}}{\sqrt{1 + 1{,}862^2}}\right) = 0{,}214 \text{ м};$$

– преодолеваемой задними колёсами,

$$h_{\text{с.э32max}} = r_{\text{с}}\left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{\text{ш}}}{r_{\text{с}}}}{\sqrt{1 + K_{32}^2}}\right) = 0{,}38\left(1 - \frac{1 - \frac{0{,}03}{0{,}38}}{\sqrt{1 + 7{,}586^2}}\right) = 0{,}334 \text{ м};$$

$$0{,}214 \text{ м} < 0{,}334 \text{ м}; \; h_{\text{с.э3max}} = h_{\text{с.э31max}} = 0{,}214 \text{ м}.$$

Параметры при динамическом распределении веса по осям за счёт действия реактивных моментов.

Дополнительные нормальные нагрузки

$$\pm \Delta G_{\text{р3}} = \pm \frac{T_{\Sigma\text{р3}}}{L} = \pm \frac{(\varphi_{\text{с}} G_{\text{а1}} + \varphi_x G_{\text{а2}}) r_{\text{д}}}{L} =$$

$$= \pm \frac{G_{\text{а}}(0{,}8 \cdot 0{,}6 + 0{,}65 \cdot 0{,}4) \cdot 0{,}38}{3{,}2} = \pm 0{,}09 G_{\text{а}}.$$

Динамические нормальные нагрузки:

– на передние колёса

$$G_{\text{а1д}} = G_{\text{а1}} - \Delta G_{\text{р3}} = (0{,}6 - 0{,}09) G_{\text{а}} = 0{,}51 G_{\text{а}};$$

– на задние колёса

$$G_{\text{а2д}} = G_{\text{а2}} + \Delta G_{\text{р3}} = (0{,}4 + 0{,}09) G_{\text{а}} = 0{,}49 G_{\text{а}}.$$

Коэффициенты $K_{\text{3д}}$:

– для передних колёс

$$K_{\text{31д}} = \frac{\varphi_{\text{с}} G_{\text{а1д}} + (\varphi_x - f) G_{\text{а2д}}}{G_{\text{а1д}} + f\varphi_{\text{с}} G_{\text{а2д}} - \varphi_{\text{с}}\varphi_x G_{\text{а2д}}} = \frac{G_{\text{а}}[0{,}51\varphi_{\text{с}} + 0{,}49(\varphi_x - f)]}{G_{\text{а}}(0{,}51 + 0{,}49 f\varphi_{\text{с}} - 0{,}49\varphi_{\text{с}}\varphi_x)} =$$

$$= \frac{0{,}51 \cdot 0{,}8 + 0{,}49(0{,}65 - 0{,}01)}{0{,}51 + 0{,}49 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}8 - 0{,}49 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}65} = 2{,}785;$$

– для задних колёс

$$K_{32д} = \frac{\varphi_с G_{а2д} + (\varphi_x - f) G_{а1д}}{G_{а2д} + f\varphi_с G_{а1д} - \varphi_с \varphi_x G_{а1д}} = \frac{G_а [0{,}49\varphi_с + 0{,}51(\varphi_x - f)]}{G_а (0{,}49 + 0{,}51 f\varphi_с - 0{,}51\varphi_с\varphi_x)} =$$

$$= \frac{0{,}49 \cdot 0{,}8 + 0{,}51(0{,}65 - 0{,}01)}{0{,}49 + 0{,}51 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}8 - 0{,}51 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}65} = 3{,}139.$$

Высота стенки:

– преодолеваемой передними колёсами,

$$h_{с.э31\,max\,д} = r_с \left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_ш}{r_с}}{\sqrt{1 + K_{31д}^2}} \right) = 0{,}38 \left(1 - \frac{1 - \frac{0{,}03}{0{,}38}}{\sqrt{1 + 2{,}785^2}} \right) = 0{,}262 \text{ м};$$

– преодолеваемой задними колёсами,

$$h_{с.э32\,max\,д} = r_с \left(1 - \frac{1 - \frac{\Delta_ш}{r_с}}{\sqrt{1 + K_{32д}^2}} \right) = 0{,}38 \left(1 - \frac{1 - \frac{0{,}03}{0{,}38}}{\sqrt{1 + 3{,}139^2}} \right) = 0{,}274 \text{ м}.$$

$$0{,}262 \text{ м} < 0{,}274 \text{ м}; \; h_{с.э3\,max\,д} = h_{с.э31\,max\,д} = 0{,}262 \text{ м}.$$

Изменение высоты преодолеваемой стенки при учёте действия реактивных моментов

$$\Delta h_{с.э3\,max} = \frac{h_{с.э3\,max\,д} - h_{с.э3\,max}}{h_{с.э3\,max}} 100 = \frac{0{,}262 - 0{,}214}{0{,}214} 100 = 22{,}4\%.$$

Ответ: $h_{с.э3max}$ = 0,214 м; увеличится на 22,4%.

Пример 9.2. Определить максимальный подъём, который преодолеет переднеприводный автомобиль. Коэффициент сцепного веса 0,55; коэффициент продольного сцепления 0,35; коэффициент сопротивления качению 0,011. На сколько процентов изменится величина преодолеваемого подъёма, если а) учесть перераспределение веса автомобиля при движении на подъёме; б) одновременно учесть перераспределение веса при движении на подъёме и действие реактивного момента со стороны передних ведущих колёс. База автомобиля 2,5 м; высота центра масс 0,7 м; динамический радиус колёс 0,3 м.

Дано: $k_{сц}$ = 0,55; φ_x = 0,35; f = 0,011; L = 2,5 м; h_g = 0,7 м; $r_д$ = 0,3 м.

Определить: α_{max}; $\Delta\alpha'_{max}$; $\Delta\alpha''_{max}$.

Решение: Для решения задачи с погрешностью, не превышающей 2%, можно воспользоваться приближённой формулой (6.23), согласно которой максимальный угол преодолеваемого подъёма

$$\alpha_{max} = \operatorname{arctg} i = \operatorname{arctg}\left(\varphi_x k_{сц} - f\right) = \operatorname{arctg}\left(0{,}35 \cdot 0{,}55 - 0{,}011\right) =$$
$$= \operatorname{arctg} 0{,}1815 = 10{,}29° = 10°17'.$$

а) При учёте перераспределения веса автомобиля:

– суммарная нормальная реакция, действующая на передние колёса,

$$\sum R'_{z1} = G_{a1} - \frac{F_i h_g}{L} = G_{a1} - \frac{G_a h_g \sin\alpha}{L} =$$
$$= G_{a1} - \frac{0{,}7 \sin 10{,}29° G_a}{2{,}5} = G_{a1} - 0{,}051 G_a;$$

– коэффициент сцепного веса

$$k'_{сц} = \frac{\sum R'_{z1}}{G_a} = \frac{G_{a1}}{G_a} - \frac{0{,}051 G_a}{G_a} = 0{,}55 - 0{,}051 = 0{,}499;$$

– максимальный угол преодолеваемого подъёма

$$\alpha'_{max} = \operatorname{arctg} i' = \operatorname{arctg}\left(\varphi_x k'_{сц} - f\right) = \operatorname{arctg}\left(0{,}35 \cdot 0{,}499 - 0{,}011\right) =$$
$$= \operatorname{arctg} 0{,}164 = 9{,}29° = 9°17';$$

– изменение максимального угла

$$\Delta\alpha'_{max} = \frac{\alpha_{max} - \alpha'_{max}}{\alpha_{max}} 100 = \frac{10{,}29 - 9{,}29}{10{,}29} 100 = 9{,}7\%.$$

б) При учёте перераспределения веса автомобиля и действия реактивного момента:

– суммарная нормальная реакция, действующая на передние колёса,

$$\sum R''_{z1} = \sum R'_{z1} - \frac{T_{\Sigma p2}}{L} = \sum R'_{z1} - \frac{\varphi_x \sum R'_{z1} r_д}{L} = \sum R'_{z1} -$$
$$- \frac{0{,}35 \cdot 0{,}3 \sum R'_{z1}}{2{,}5} = \left(1 - 0{,}042\right) \sum R'_{z1} = 0{,}958 \sum R'_{z1};$$

– коэффициент сцепного веса

$$k''_{\text{сц}} = \frac{\sum R''_{z1}}{G_{\text{а}}} = -\frac{0{,}958 \cdot 0{,}499 G_{\text{а}}}{G_{\text{а}}} = 0{,}478\,;$$

– максимальный угол преодолеваемого подъёма

$$\alpha''_{\max} = \operatorname{arctg} i'' = \operatorname{arctg}\left(\varphi_x k''_{\text{сц}} - f\right) = \operatorname{arctg}\left(0{,}35 \cdot 0{,}478 - 0{,}011\right) =$$
$$= \operatorname{arctg} 0{,}1563 = 8{,}88° = 8°53';$$

– изменение максимального угла

$$\Delta\alpha''_{\max} = \frac{\alpha_{\max} - \alpha''_{\max}}{\alpha_{\max}} 100 = \frac{10{,}29 - 8{,}88}{10{,}29} 100 = 13{,}7\ \%.$$

Ответ: $\alpha_{\max}$ = 10°17′; а) уменьшится на 9,7%; б) уменьшится на 13,7%.

Пример 9.3. Масса полноприводного грузового автомобиля 5800 кг; база 3,3 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,75 м. При движении на прямолинейном горизонтальном участке дороги, когда выключен привод передних колёс, коэффициенты сцепления с дорогой левого заднего колеса 0,7, правого заднего 0,2. В ведущем мосту установлен дифференциал повышенного внутреннего трения с коэффициентом блокировки 0,8. Определить тяговую силу на ведущих колёсах. Во сколько раз изменится тяговая сила на ведущих колёсах при установке в ведущем мосту: а) простого конического дифференциала без блокировки; б) простого конического дифференциала с блокировкой.

Дано: $m_{\text{а}}$ = 5800 кг; L = 3,3 м; a = 1,75 м; $\varphi_{x\text{л}}$ = 0,7; $\varphi_{x\text{п}}$ = 0,2; $k_{\text{б}}$ = 0,8.

Определить: а) $\Delta F'_{\text{тф}}$ с простым коническим дифференциалом; б) $\Delta F''_{\text{тф}}$ с блокируемым простым коническим дифференциалом.

Решение: Нагрузка на задний ведущий мост

$$G_{\text{а}2} = \frac{m_{\text{а}} g a}{L} = \frac{5{,}8 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}75}{3{,}3} = 30{,}2\ \text{кН}.$$

Суммарная нормальная реакция на задние колёса

$$\sum R_{z2} = G_{\text{а}2} = 30{,}2\ \text{кН}.$$

Параметры автомобиля с дифференциалом повышенного внутреннего трения:

– обобщённый коэффициент продольного сцепления

$$\varphi_{x\text{об}} = \frac{\varphi_{x\min}}{2(1-k_{\text{б}})} = \frac{\varphi_{x\text{п}}}{2(1-k_{\text{б}})} = \frac{0{,}2}{2(1-0{,}8)} = 0{,}5;$$

– тяговая сила на ведущих колёсах по сцеплению с дорогой

$$F_{\text{тф}} = \varphi_{x\text{об}} \sum R_{z2} = 0{,}5 \cdot 30{,}2 = 15{,}1 \text{ кН}.$$

Параметры автомобиля с простым коническим дифференциалом:
– обобщённый коэффициент продольного сцепления

$$\varphi'_{x\text{об}} = \varphi_{x\min} = \varphi_{x\text{п}} = 0{,}2;$$

– тяговая сила на ведущих колёсах по сцеплению с дорогой

$$F'_{\text{тф}} = \varphi'_{x\text{об}} \sum R_{z2} = 0{,}2 \cdot 30{,}2 = 6{,}04 \text{ кН};$$

– изменение тяговой силы

$$\frac{F_{\text{тф}}}{F'_{\text{тф}}} = \frac{15{,}1}{6{,}04} = 2{,}5.$$

Параметры автомобиля с заблокированным простым коническим дифференциалом:
– обобщённый коэффициент продольного сцепления

$$\varphi''_{x\text{об}} = \frac{\varphi_{x\min} + \varphi_{x\max}}{2} = \frac{\varphi_{x\text{п}} + \varphi_{x\text{л}}}{2} = \frac{0{,}2 + 0{,}7}{2} = 0{,}45;$$

– тяговая сила на ведущих колёсах по сцеплению с дорогой

$$F''_{\text{тф}} = \varphi''_{x\text{об}} \sum R_{z2} = 0{,}45 \cdot 30{,}2 = 13{,}6 \text{ кН};$$

– изменение тяговой силы

$$\frac{F_{\text{тф}}}{F''_{\text{тф}}} = \frac{15{,}1}{13{,}6} = 1{,}1.$$

Ответ: $F_{\text{тф}} = 15{,}1$ кН; а) уменьшится в 2,5 раза; б) уменьшится в 1,1 раза.

Пример 9.4. Колесо автомобиля повышенной проходимости движется с постоянной скоростью 10 км/ч по горизонтальной грунтовой поверхности с параметрами: коэффициент осадки 0,5; коэффициент уплотнения 0,5; коэффициент внутреннего сцепления 0,045 МПа; угол внутреннего трения 29°; плотность 1260 кг/м^3; удельная сила прилипания к колесу

0,0045 МПа. Конструктивные параметры колеса, оснащённого шиной с регулируемым давлением: нормальная нагрузка 10 кН; эмпирический коэффициент в формуле НАМИ $0{,}5\cdot10^{-4}$ м·МПа/Н$^{3/4}$; наружный диаметр 1,27 м; ширина и высота профиля недеформированной шины 0,37 м и 0,39 м соответственно; ширина протектора 0,31 м; параметры грунтозацепов: шаг 0,17 м, толщина 0,022 мм, высота 0,033 м; максимальное давление воздуха в шине 0,28 МПа; коэффициент, учитывающий жёсткость каркаса 0,17; давление воздуха в шине 0,1 МПа; коэффициент гистерезисных потерь 0,35; коэффициент буксования 0,1. Определить коэффициент сопротивления качению колеса.

Дано: $V_а$ = 10 км/ч; c = 0,5; μ = 0,5; c_0 = 0,045 МПа; φ_0 = 29°; $\rho_г$ = 1260 кг/м^3; $p_л$ = 0,0045 МПА; F_z = 10 кН; k_z = $0{,}5\cdot10^{-4}$ м·МПа/Н$^{3/4}$; $D_н$ = 1,27 м; $B_ш$ = 0,37 м; $H_ш$ = 0,39 м; $b_{пр}$ = 0,31 м; t = 0,17 м; $t_{гр}$ = 0,022 м; $h_{гр}$ = 0,033 м; $p_{вmax}$ = 0,28 МПа; $k_к$ = 0,17; $p_в$ = 0,1 МПа; ψ_0 = 0,35; $s_б$ = 0,1.

Определить: f.

Решение: Нормальная деформация шины

$$h_z = \frac{k_z F_z^{3/4}}{1+p_в} = \frac{0{,}5\cdot10^{-4}\left(10^4\right)^{3/4}}{1+0{,}1} = 0{,}0455 \text{ м}.$$

Давление шины на грунт

$$p_ш = \frac{\pi h_z}{2b_{пр}}\left(\frac{B_ш}{H_ш}+\frac{3H_ш}{2B_ш}\right)\left(p_в + k_к p_{в\,max}\right)\left(1-\frac{h_z}{B_ш}\right) =$$

$$= \frac{3{,}14\cdot0{,}0455}{2\cdot0{,}31}\left(\frac{0{,}37}{0{,}39}+\frac{3\cdot0{,}39}{2\cdot0{,}37}\right)\left(0{,}1+0{,}17\cdot0{,}28\right)\left(1-\frac{0{,}0455}{0{,}37}\right) =$$

$$= 0{,}0755 \text{ МПа}.$$

Из условия прекращения осадки колеса в грунт статическое нормальное давление на грунт

$$p_г = p_ш = 0{,}0755 \text{ МПа}.$$

Длина площади контакта колеса с грунтом

$$l = 2\sqrt{D_н h_z - h_z^2} = 2\sqrt{1{,}27\cdot0{,}0455 - 0{,}0455^2} = 0{,}48 \text{ м}.$$

Динамическое нормальное давление на грунт при качении колеса

$$p_{\text{г.д}} = \left(\frac{l}{l + \frac{V_{\text{а}}}{3{,}6 \cdot 2\varphi_0}} \right) p_{\text{г}} = \left(\frac{0{,}48}{0{,}48 + \frac{10}{3{,}6 \cdot 2 \cdot 29}} \right) 0{,}0755 = 0{,}0687 \text{ МПа.}$$

Нормальная деформация грунта из формулы М.Н. Летошнева

$$h_{\text{г}} = \left(\frac{p_{\text{г.д}}}{c} \right)^{\frac{1}{\mu}} = \left(\frac{0{,}0687}{0{,}5} \right)^{2} = 0{,}019 \text{ м.}$$

Ширина контакта колеса с грунтом

$$b = b_{\text{пр}} + \frac{10\left(B_{\text{ш}} + h_z - b_{\text{пр}}\right)h_{\text{г}}}{H_{\text{ш}} + h_z + 10h_{\text{г}}} = 0{,}31 + \frac{10\left(0{,}37 + 0{,}0455 - 0{,}31\right)0{,}0455}{0{,}39 + 0{,}0455 + 10 \cdot 0{,}019} = 0{,}387 \text{ м.}$$

Сила сопротивления качению колеса, обусловленная гистерезисными потерями в шине,

$$F_{f\text{ш}} = \frac{1{,}75 \cdot 10^6 \psi_0 k_{\text{к}} p_{\text{в max}} h_z^2 \left(B_{\text{ш}}^2 + 1{,}5H_{\text{ш}}^2\right)\left(B_{\text{ш}} - 0{,}3h_z\right)}{H_{\text{ш}} B_{\text{ш}}^2} =$$

$$= \frac{1{,}75 \cdot 10^6 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}17 \cdot 0.28 \cdot 0{,}0455^2 \left(0{,}37^2 + 1{,}5 \cdot 0{,}39^2\right)\left(0{,}37 - 0{,}3 \cdot 0{,}0455\right)}{0{,}39 \cdot 0{,}37^2} =$$

$$= 118 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления качению колеса от нормальной деформации грунта

$$F_{f\text{г}} = \frac{1{,}5 \cdot 10^6 bch_{\text{г}}^{\mu+1}}{\mu + 1} = \frac{1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}387 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}019^{1{,}5}}{0{,}5 + 1} = 507 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления качению колеса от прилипания грунта

$$F_{f\text{л}} = 0{,}5 \cdot 10^6 p_{\text{л}} bl = 0{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0045 \cdot 0{,}387 \cdot 0{,}48 = 418 \text{ Н.}$$

Сила сопротивления качению колеса от сдвига грунта вперёд

$$F_{fб} = bh_г\left[0{,}5\rho_г g h_г \operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi_0}{2}\right) + 2\cdot 10^6 c_0 \operatorname{tg}\left(45° + \frac{\varphi_0}{2}\right)\right] =$$

$$= 0{,}387\cdot 0{,}019\left[0{,}5\cdot 1260\cdot 9{,}81\cdot 0{,}019\operatorname{tg}^2\left(45° + \frac{29°}{2}\right) +\right.$$

$$\left. + 2\cdot 10^6\cdot 0{,}045\operatorname{tg}\left(45° + \frac{29°}{2}\right)\right] = 1125 \text{ Н}.$$

Сила сопротивления качению колеса от его экскавационного погружения в грунт

$$F_{fэ} = \frac{1{,}5\cdot 10^6 bc}{\mu + 1}\left[\frac{h_{гр}\left(t - t_{гр}\right)}{\left(1 - s_б\right)\left(0{,}5D_н - h_z\right)2\arcsin\left(\frac{t}{D_н}\right)}\right]^{\mu+1} =$$

$$= \frac{1{,}5\cdot 10^6\cdot 0{,}387\cdot 0{,}5}{0{,}5 + 1}\left[\frac{0{,}033\left(0{,}17 - 0{,}022\right)}{\left(1 - 0{,}1\right)\left(0{,}5\cdot 1{,}27 - 0{,}0455\right)2\arcsin\left(\frac{0{,}17}{1{,}27}\right)}\right]^{1{,}5} =$$

$$= 1232 \text{ Н}.$$

Общая сила сопротивления качению колеса

$$F_f = F_{fш} + F_{fг} + F_{fл} + F_{fб} + F_{fэ} = 118 + 507 + 418 + 1125 + 1232 = 3400 \text{ Н}.$$

Нормальная реакция грунта на колесо

$$R_z = F_z = 10000 \text{ Н}.$$

Коэффициент сопротивления качению

$$f = \frac{F_f}{R_z} = \frac{3400}{10000} = 0{,}34\,.$$

Ответ: $f = 0{,}34$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 9.1. У грузового двухосного автомобиля повышенной проходимости база 3,3 м; расстояния от нижней точки, расположенной между

осями, до задней оси 1,15 м, до поверхности дороги 0,53 м соответственно; наружный диаметр шин 1,084 м. Определить продольный радиус проходимости.

Задача 9.2. Определить продольный радиус проходимости легкового автомобиля, у которого база 2,7 м, а расстояние от поверхности дороги до нижней точки автомобиля, находящейся в середине базы, 0,24 м.

Задача 9.3. У ведущего моста грузового автомобиля расстояние от нижней точки картера до поверхности дороги 0,27 м; колея ведущего моста со сдвоенными шинами колёс 1,9 м; размер шин 275R17,5. Определить поперечный радиус проходимости.

Задача 9.4. Длина переднего свеса автобуса 1,85 м; база 5,5 м; задний свес составляет 49% от базы. Углы свеса, согласно паспортным данным, спереди 7°, сзади 5,5°. Оценить возможность автобуса преодолеть бордюр высотой 250 мм передним и задним ходом.

Задача 9.5. Габаритная длина грузового автомобиля 9,1 м; база 5,2 м; задний свес составляет 48% от базы. Расстояние от поверхности дороги до крайней точки контура передней выступающей части по длине автомобиля составляет 0,86 м, расстояние до аналогичной точки контура задней выступающей части 0,65 м. Рассчитать углы переднего и заднего свесов.

Задача 9.6. Автомобиль с колёсной формулой 4х×2 преодолевает передними колёсами прямоугольный бордюр. Какова максимальная высота этого препятствия, если толкающая сила со стороны задних ведущих колёс 25 кН; наружный диаметр колёс 0,96 м; радиальная деформация шин на кромке бордюра 24 мм; полная масса автомобиля 6200 кг, на заднюю ось приходится 3500 кг.

Задача 9.7. При каком минимальном значении коэффициента продольного сцепления автомобиль с колёсной формулой 6×4 может въехать передними ведомыми колёсами на прямоугольное препятствие высотой 300 мм? Свободный радиус колёс 0,54 м; радиальная деформация шин на кромке препятствия составляет 0,1 от этого радиуса; вес, приходящийся на ведущие колеса, 125 кН; полный вес автомобиля 185 кН.

Задача 9.8. У переднеприводного легкового автомобиля на передние колёса приходится 55% его полного веса. Какую часть от свободного радиуса колёс составляет высота прямоугольного уступа, преодолеваемого ведущими колёсами? Коэффициент продольного сцепления на кромке уступа 0,95; радиальная деформация шин на кромке уступа составляет 11% от их свободного радиуса; коэффициент сопротивления качению задних колёс 0,012. Как повлияет на результат учёт реактивного момента со стороны ведущих колес? Наружный диаметр колёс 0,58 м; база автомобиля 2,6 м.

Задача 9.9. Полноприводный грузовой автомобиль с колёсной формулой 4×4 и базой 3,8 м вынужден переехать лежащий на дороге бетонный блок прямоугольной формы. Коэффициенты продольного сцепления колёс с ребром блока 0,84, с поверхностью дороги 0,7; коэффициент сопротивления качению 0,012. Радиальная деформация шин на ребре блока 0,1 от свободного радиуса колёс, который равен 0,5 м. Статическое распределение массы автомобиля по осям 56:44. Определить максимальную высоту преодолеваемого автомобилем препятствия для двух расчётных случаев: а) без учёта реактивных моментов со стороны ведущих осей; б) с учётом этих реактивных моментов.

Задача 9.10. При каком распределении полной массы автомобиля по осям передние ведущие колёса двухосного полноприводного автомобиля могут въехать на вертикальную стенку, высота которой превосходит радиус колёс. Коэффициенты продольного сцепления с кромкой стенки и с дорогой 0,8; коэффициент сопротивления качению 0,01.

Задача 9.11. Поперёк дороги, по которой движется автомобиль с колёсной формулой 4×4, лежит круглый железобетонный столб диаметром 0,5 м. Может ли автомобиль на малой скорости преодолеть это препятствие? Статическое распределение массы по осям 50:50; радиус колёс 0,55 м; коэффициент сцепления колёс с дорогой и поверхностью столба 0,8.

Задача 9.12. Определить максимальный угол преодолеваемого по сцепным свойствам подъёма для автопоезда полной массой 40 т, движущегося по дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,65. На тележку ведущих осей тягача приходится 20 т; высота центра масс и база тягача 1,4 м и 4,5 м соответственно. Прицеп имеет полную массу 15 т; высота расположения его сцепного устройства 0,85 м. Коэффициент сопротивления качению 0,012.

Задача 9.13. Расстояния от центра масс заднеприводного легкового автомобиля до передней оси 1,4 м и до поверхности дороги 0,65 м; база 2,65 м; коэффициент продольного сцепления колёс с асфальтовым покрытием дороги 0,75; коэффициент сопротивления качению 0,01. Рассчитать максимальный угол подъёма, который может преодолеть автомобиль по условию сцепления колёс с дорогой для двух расчётных режимов: а) без учёта догрузки заднего моста за счёт реактивного момента от ведущих колёс; б) с учётом этого момента. Динамический радиус колёс 0,32 м.

Задача 9.14. У переднеприводнего легкового автомобиля расстояние центра масс от поверхности дороги, база, коэффициент продольного сцепления ведущих колёс с асфальтовым покрытием дороги и коэффициент сопротивления качению такие же, как у автомобиля с приводом на задние колёса, данные по которому приведены в задаче 9.13. Как надо изменить положение центра масс по длине переднеприводного автомобиля, чтобы

он не уступил заднеприводному аналогу по углу максимального преодолеваемого подъёма. Действие на кузов реактивного момента со стороны ведущих колёс не учитывать.

Задача 9.15. Полная масса грузового автомобиля с колёсной формулой 4×2 равна 3500 кг, на переднюю ось приходится 1170 кг; высота центра масс от опорной поверхности 1,4 м. Масса порожнего автомобиля 2000 кг, на переднюю ось приходится 980 кг; высота центра масс 1,1 м. Какие максимальные углы подъёма может преодолеть автомобиль в этих двух весовых состояниях? Коэффициент продольного сцепления 0,25; коэффициент сопротивления качению 0,02; база автомобиля 4,1 м.

Задача 9.16. Найти сцепной вес тягача полной массой 16 т, который движется с прицепом массой 12 т на подъёме с уклоном 10%. Коэффициент продольного сцепления колёс с дорогой 0,3; коэффициент сопротивления качению 0,018.

Задача 9.17. Рассчитать допустимую полную массу грузового автопоезда, если нагрузка на тележку ведущих осей автомобиля-тягача составляет 16 т. Преодолеваемый подъём должен быть не менее 6% при коэффициенте продольного сцепления колёс с обледенелым дорожным покрытием 0,2 и коэффициенте сопротивления качению 0,011.

Задача 9.18. Масса грузового автомобиля с колёсной формулой 4×2 8200 кг, в том числе на переднюю ось приходится 30% этой массы. Площадь контакта одинарного колеса с твёрдой опорной поверхностью 395 см^2. Определить величины давлений в контакте передних и задних колёс с поверхностью дороги. На сколько процентов они отличаются?

Задача 9.19. Грузовой автомобиль повышенной проходимости с колёсной формулой 6×6 имеет полную массу 12 т, причём на переднюю ось приходится 3,5 т. Площадь контакта всех колёс с твёрдой опорной поверхностью в сумме равна 2970 см^2. Определить величины давлений в контакте передних, средних и задних колёс с дорогой при условии, что длина штанг балансирной подвески среднего и заднего мостов одинакова.

Задача 9.20. Грузовой автомобиль с колёсной формулой 4×4 преодолевает максимальный подъём с уклоном 70% при равномерном движении. Расстояния от центра масс до передней оси 1,7 м, до задней оси 1,6 м, до поверхности дороги 1,15 м. Коэффициент продольного сцепления 0,7. Может ли автомобиль преодолеть этот подъём, если водитель не заблокирует симметричный межосевой дифференциал трансмиссии? Сопротивлениями качению и воздуха пренебречь.

Задача 9.21. У полноприводного легкового джипа на переднюю ось приходится 720 кг, на заднюю – 750 кг полной массы; база 2,3 м; высота центра масс 0,75 м. Рассчитать максимальные углы подъёмов, которые может преодолеть автомобиль при движении по дороге с коэффициентом

продольного сцепления 0,6 и коэффициентом сопротивления качению 0,02, если включён привод: а) только на передние колёса; б) только на задние колёса; в) на все колёса при незаблокированном межосевом дифференциале; г) на все колёса при заблокированном межосевом дифференциале.

Задача 9.22. По условию задачи 9.21 определить максимальные углы подъёмов с учётом влияния на их величины реактивных моментов на ведущих мостах. Динамический радиус колёс 0,33 м.

Задача 9.23. Кроссовер с колёсной формулой 4×4 пытается преодолеть подъём в виде покрытого травой грунтового откоса, у которого коэффициент продольного сцепления 0,4 и коэффициент сопротивления качению 0,05. Статическое распределение массы по осям 51:49; база автомобиля 2,5 м; высота центра масс 0,8 м. В трансмиссии установлен симметричный межосевой дифференциал, имеющий возможность блокировки. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить угол максимального подъёма, который может преодолеть кроссовер: а) при незаблокированном межосевом дифференциале; б) при его блокировке.

Задача 9.24. Автомобиль движется по просёлочной дороге, имеющей поперечный уклон 8°. Масса, приходящаяся на ведущие колёса, 6 т; их колея 1,8 м; высота центра масс 1,5 м. Коэффициент продольного сцепления более высоко расположенного относительно горизонта колеса, контактирующего с сухой грунтовой поверхностью дороги, 0,5. Расположенное ниже колесо движется по мокрому глинистому участку, коэффициент продольного сцепления которого 0,25. Определить тяговую силу на ведущих колёсах при: а) незаблокированном межколёсном дифференциале; б) в случае его блокировки. Трение в дифференциале пренебрежимо мало.

Задача 9.25. У автомобиля повышенной проходимости полная масса 6200 кг; база 3,6 м; расстояние от центра масс до передней оси 1,95 м. При движении с выключенным приводом переднего моста по горизонтальной частично заснеженной дороге коэффициент сцепления заднего левого колеса с дорогой 0,6, заднего правого – 0,25. Определить тяговую силу на ведущих колёсах, когда: а) работает межколёсный конический симметричный дифференциал; б) межколёсный дифференциал кулачковый с коэффициентом блокировки 0,7; в) межколёсный дифференциал заблокирован.

Задача 9.26. Поперечный наклон участка дороги, по которому движется легковой автомобиль, составляет 6°. На его ведущую ось приходится вес 10 кН; колея ведущих колёс 1,6 м; высота центра масс 0,8 м. Наиболее нагруженное ведущее колесо движется по сухому грунту с коэффициентом продольного сцепления 0,6, наименее нагруженное – по мокрому грунту с

коэффициентом продольного сцепления 0,3. Определить суммарную тяговую силу на ведущих колёсах для трёх случаев: а) работает межколёсный конический симметричный дифференциал; б) межколёсный дифференциал повышенного трения с коэффициентом блокировки 0,65; в) межколёсный дифференциал заблокирован.

Задача 9.27. Тюнингованный автомобиль оснащён раздельным приводом стояночных тормозов ведущих колёс заднего моста. Межколёсный дифференциал ведущего моста простой конический. Коэффициенты сцепления ведущих колёс: левого – 0,7, правого – 0,05. На сколько процентов увеличится суммарная тяговая сила на колёсах, если буксующее колесо будет заторможено моментом 200 Н·м с помощью его стояночного тормоза. Нормальная реакция на каждое ведущее колесо 5 кН; динамический радиус колёс 0,4 м.

Задача 9.28. Джип с колёсной формулой 4×4 имеет неблокируемый межосевой симметричный дифференциал. База автомобиля 2,7 м; динамический радиус колёс 0,36 м. Определить положение центра масс по длине автомобиля, при котором вероятность буксования колёс при движении по грунтовой дороге с коэффициентом продольного сцепления 0,5 будет наименьшей.

Задача 9.29. Автомобиль с колёсной формулой 4×4 движется с включёнными передним и задним ведущими мостами. Межосевой дифференциал в раздаточной коробке отсутствует. Полная масса автомобиля 7600 кг; фактор обтекаемости 3,2 Н·с^2/м^2; радиусы передних колёс 0,5 м, задних – 0,49 м; коэффициент сопротивления качению 0,022; коэффициент продольного сцепления 0,48. Рассчитать величины мощности, затрачиваемой на буксование ведущих колёс, и паразитной мощности, циркулирующей в трансмиссии автомобиля, при допущении, что колёса жёсткие в тангенциальном направлении. Суммарная нормальная реакция на передние колёса 35 кН; скорость автомобиля 20 км/ч.

Задача 9.30. Тяжёлый джип с колёсной формулой 4×4 движется с постоянной скоростью 18 км/ч с заблокированным межосевым дифференциалом по дороге с коэффициентом сопротивления 0,12. Масса джипа 2700 кг; фактор обтекаемости 2 Н·с^2/м^2; радиусы передних колёс 0,37 м, задних – 0,367 м; коэффициент тангенциальной эластичности шин 0,003 м/(кН·м). Определить отношение тяговых сил на передних и задних колёсах джипа.

Задача 9.31. Определить величины сопротивлений смятию и сдвигу связного грунта при статическом погружении жёсткого колеса диаметром 1,5 м на глубину, равную 0,1 диаметра колеса. Коэффициенты грунта: осадки 20; уплотнения 0,5; внутреннего сцепления 0,06 МПа; внутреннего трения 0,53. Во сколько раз изменятся величины сопротивлений смятию и

сдвигу сыпучего грунта, имеющего коэффициенты: осадки 0,325; уплотнения 0,5; внутреннего сцепления 0 МПа; внутреннего трения 0,44.

Задача 9.32. Определить нормальную деформацию и статическое давление колеса, оснащённого шиной с регулируемым давлением, со следующими конструктивными параметрами: наружный диаметр колеса 1,15 м; ширина и высота профиля недеформированной шины 0,337 м и 0,351 м соответственно; ширина протектора 0,28 м; нормальная нагрузка колеса 10 кН; коэффициент в формуле НАМИ $0{,}5\cdot10^{-4}$ м·МПа/Н$^{3/4}$; рабочее давление воздуха в шине 0,05 МПа; максимальное давление воздуха 0,25 МПа; коэффициент, учитывающий жёсткость каркаса, 0,15.

Задача 9.33. По условию задачи 9.32 найти, во сколько раз изменятся нормальная деформация шины и статическое давление в её контакте с грунтом при: а) увеличении нормальной нагрузки в 1,5 раза и давлении в шине 0,05 МПа; б) увеличении давления воздуха в шине до максимального и сохранении той же нормальной нагрузки.

Задача 9.34. По условиям задач 9.31 и 9.32 определить статическое погружение колеса в связный грунт и рассчитать, во сколько раз возрастёт его погружение в сыпучий грунт.

Задача 9.35. Колесо, конструктивные параметры которого приведены в условии задачи 9.32, неподвижно стоит на связном грунте, имеющем коэффициенты осадки и уплотнения 20 и 0,5 соответственно. Найти нормальные деформации грунта и шины, длину и ширину зоны контакта колеса с грунтом.

Задача 9.36. Колесо, конструктивные параметры которого приведены в условии задачи 9.32, движется со скоростью 10 км/ч и коэффициентом буксования 0,2 по грунту с параметрами: коэффициенты: осадки 20; уплотнения 0,5; внутреннего сцепления 0,06 МПа; внутреннего трения 0,53; модуль сдвига 1,6 МПа. Рассчитать сопротивления смятию и сдвигу и нормальную деформацию грунта.

Задача 9.37. По условию задачи 9.36 определить, на сколько процентов изменятся названные в ней параметры при движении автомобиля со скоростью 5 км/ч.

Задача 9.38. Колесо катится с установившейся скоростью 10 км/ч по горизонтальной грунтовой поверхности с параметрами: коэффициенты: осадки 0,5; уплотнения 0,5; внутреннего сцепления 0,056 МПа; угол внутреннего трения 26°; плотность 1400 кг/м^3; удельная сила прилипания к колесу 0,005 МПа. Конструктивные параметры колеса, оснащённого шиной с регулируемым давлением: нормальная нагрузка 10 кН; эмпирический коэффициент в формуле НАМИ $0{,}5\cdot10^{-4}$ м·МПа/Н$^{3/4}$; наружный диаметр 1,15 м; ширина и высота профиля недеформированной шины 0,34 м и 0,35 м соответственно; ширина протектора 0,28 м; параметры грунтозаце-

пов: шаг 0,15 м, толщина 0,02 м, высота 0,03 м; давление воздуха в шине 0,1 МПа; коэффициент, учитывающий жёсткость каркаса, 0,15; максимальное давление воздуха в шине 0,25 МПа; коэффициент гистерезисных потерь 0,4; коэффициент буксования колеса 0,5. Определить силу сопротивления качению колеса.

Задача 9.39. По результатам решения задачи 9.38 найти процентное соотношение всех сил, оказывающих сопротивление качению колеса по грунту.

Задача 9.40. По условию задачи 9.38 рассчитать, на сколько процентов изменится сила сопротивления качению колеса при увеличении в два раза ширины профиля и ширины протектора шины.

Задача 9.41. По условию задачи 9.38 найти коэффициент сопротивления дороги при движении автомобиля на подъёме с углом 5°.

Задача 9.42. По условию задачи 9.38 определить возможность движения колеса при коэффициенте продольного сцепления с грунтом, равном 0,5.

Задача 9.43. По условиям задач 9.31 и 9.32 при движении колеса со скоростью 10 км/ч по связному грунту определить его тяговую силу по сцеплению с грунтом при коэффициенте буксования 0,2. Коэффициент трения резины протектора по грунту 0,6; коэффициент насыщенности протектора 0,8; модуль сдвига грунта 1,6 МПа.

Задача 9.44. По условию задачи 9.43 определить, на сколько процентов изменится тяговая сила колеса при коэффициентах буксования 0,5 и 0,8.

Задача 9.45. Автомобиль повышенной проходимости с колёсной формулой 4×4 и полной массой 6 т движется с постоянной скоростью 10 км/ч по горизонтальной грунтовой поверхности. Распределение массы по колёсам автомобиля равномерное. Параметры грунта и шин взять из условия задачи 9.38. Осадка колёс в грунт меньше дорожного просвета. Силой сопротивления воздуха пренебречь. Определить показатель опорной проходимости автомобиля при коэффициенте продольного сцепления 0,5 и оценить возможность его движения в заданных грунтовых условиях.

Задача 9.46. По условию задачи 9.45 определить максимальный угол подъёма, который может преодолеть автомобиль в заданных грунтовых условиях.

Задача 9.47. По условию задачи 9.45 определить массу прицепа, который может буксировать автомобиль в заданных грунтовых условиях. Сила сопротивления движению прицепа 2 кН.

Задача 9.48. По условиям задач 9.45 и 9.47 найти массу прицепа, если буксование колёс возрастёт в 5 раз.

Задача 9.49. По условию задачи 9.45 определить, во сколько раз возрастёт сила сопротивления движению автомобиля, если его корпус шири-

ной 2,5 м погрузится в грунт на глубину 0,1 м, и каков при этом показатель опорной проходимости.

Задача 9.50. По условию задачи 9.45 определить, на сколько процентов изменится показатель опорной проходимости автомобиля, если на его шасси с колёсной формулой 4×4 создать автомобиль с колёсной формулой 6×6.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ

Основные формулы

1. Определение масс автомобиля

Снаряжённые массы автомобилей (кг):

– грузового

$$m_0 = \frac{m_г}{k_у} = \eta_m m_г, \tag{10.1}$$

где $m_г$ – масса нагрузки, кг; $k_у$ – коэффициент удельной грузоподъёмности; η_m – коэффициент снаряжённой массы;

– автобуса

$$m_0 = cL_г = \eta_n n_п, \tag{10.2}$$

где c – коэффициент массы, кг/м; $L_г$ – габаритная длина, м; η_n – показатель снаряжённой массы, кг/пас.; $n_п$ – номинальная пассажировместимость, пас.;

– легкового

- отечественная методика

$$m_0 = m_с + m_{сн} + m_з + m_ч; \tag{10.3}$$

- европейская методика

$$m_0 = A_0 + B_0 L_г + C_0 L_г^2, \tag{10.4}$$

где $m_с$ – «сухая» масса, кг; $m_{сн}$ – масса снаряжения, кг; $m_з$ – масса заправки, кг; $m_ч$ – масса водителя, кг; $L_г$ – габаритная длина, м; A_0, B_0, C_0 – коэффициенты регрессии.

Массы нагрузки автомобилей (кг):

– грузового

$$m_г = m_{гр} + m_э = m_{гр} + n_э\, m_ч, \tag{10.5}$$

где $m_{гр}$ – масса груза (грузоподъёмность), кг; $m_э$ – масса членов экипажа, кг; $n_э$ – количество членов экипажа; $m_ч$ – масса члена экипажа, кг;

– автобуса

$$m_г = n_э\, m_ч + n_п\, (m_п + m_б + m_{р.к}), \tag{10.6}$$

где $n_э$ – количество членов экипажа, не включённых в снаряжённую массу; $m_ч$ – масса члена экипажа, кг; $n_п$ – количество пассажиров (пассажировместимость автобуса); $m_п$ – масса пассажира, кг; $m_б$ – масса багажа на одного пассажира, кг; $m_{р.к}$ – масса ручной клади на одного пассажира, кг;

– легкового

$$m_г = n_п\,(m_п + m_б + m_{р.к}), \tag{10.7}$$

где $n_п$ – количество пассажиров; $m_п$ – масса пассажира, кг; $m_б$ – масса багажа на одного пассажира, кг; $m_{р.к}$ – масса ручной клади на одного пассажира, кг.

Полные массы автомобилей (кг):

– грузового

$$m_а = m_0 + m_г = \frac{m_г}{k_г}; \tag{10.8}$$

где $k_г$ – коэффициент грузоподъёмности;

– автобуса

$$m_а = m_0 + m_г; \tag{10.9}$$

– легкового автомобиля

$$m_а = m_0 + m_г = A_а + B_а\,L_г + C_а\,L_г^2, \tag{10.10}$$

где $L_г$ – габаритная длина, м; $A_а$, $B_а$, $C_а$ – коэффициенты регрессии.

2. Определение мощности двигателя

Определение максимальной мощности двигателя из условия обеспечения максимальной скорости

Мощность двигателя, необходимая для движения автомобиля с максимальной скоростью (кВт),

$$P_{eV} = \frac{P_\psi + P_в}{\eta_{тр}} = \frac{\left(\psi_V m_а g + W V_{max}^2\right) V_{max}}{1000\,\eta_{тр}}, \tag{10.11}$$

где P_ψ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги, кВт; $P_в$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии на передаче, обеспечивающей максимальную скорость движения; ψ_V – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости движения; $m_а$ – полная масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; W – фактор обтекаемости, Н·с^2/м^2; V_{max} – максимальная скорость движения, м/с.

Коэффициент

$$\mathrm{E} = \frac{n_{eV}}{n_{eP}} = \frac{\omega_{eV}}{\omega_{eP}}, \qquad (10.12)$$

где n_{eV} (ω_{eV}) – частота вращения (угловая скорость) вала двигателя при максимальной скорости, об/мин (рад/с); n_{eP} (ω_{eP}) – частота вращения (угловая скорость) вала двигателя при его максимальной мощности, об/мин (рад/с).

Действительная максимальная мощность двигателя (кВт)

$$P_{e\max} = \frac{P_{eV}}{a\mathrm{E} + b\mathrm{E}^2 - c\mathrm{E}^3}, \qquad (10.13)$$

где a, b, c – коэффициенты, характеризующие тип двигателя.

Определение максимальной мощности двигателя из условия обеспечения максимального динамического фактора на высшей передаче

Максимальный динамический фактор на высшей передаче

$$D_{V\max} = f + i_{V\max}, \qquad (10.14)$$

где f – коэффициент сопротивления качению; $i_{V\max}$ – максимальный продольный уклон подъёма дороги, на котором автомобиль может двигаться с установившейся скоростью на высшей передаче.

Мощность двигателя, необходимая для установившегося движения автомобиля на высшей передаче при максимальном значении динамического фактора (кВт),

$$P_{eD} = \frac{P_{\psi} + P_{\text{в}}}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{\left(D_{V\max} m_{\text{а}} g + W V_{\text{кр}}^2\right) V_{\text{кр}}}{1000\,\eta_{\text{тр}}}, \qquad (10.15)$$

где $V_{\text{кр}}$ – критическая по динамической характеристике скорость автомобиля на высшей передаче, м/с.

Коэффициент

$$\mathrm{E}_1 = \frac{n_{e\text{кр}}}{n_{eP}} = \frac{\omega_{e\text{кр}}}{\omega_{eP}} = \frac{\omega_{eT}}{\omega_{eP}} = \frac{1}{k_{\omega}}, \qquad (10.16)$$

где $n_{e\text{кр}}$ ($\omega_{e\text{кр}}$) – частота вращения (угловая скорость) вала двигателя при критической скорости автомобиля на высшей передаче, об/мин (рад/с); n_{eP} (ω_{eP}) – частота вращения (угловая скорость) вала двигателя при его максимальной мощности, об/мин (рад/с); ω_{eT} – угловая скорость вала дви-

гателя при его максимальном крутящем моменте, рад/с; k_ω – коэффициент приспособляемости двигателя по угловой скорости (частоте вращения).

Действительная максимальная мощность двигателя (кВт)

$$P_{e\max} = \frac{P_{eD}}{a\mathrm{E}_1 + b\mathrm{E}_1^2 - c\mathrm{E}_1^3}. \qquad (10.17)$$

Максимальная стендовая мощность двигателя (кВт)

$$P_{e\max}^{\text{с}} = \frac{P_{e\max}}{k_{\text{с}}}, \qquad (10.18)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя.

3. Определение передаточных чисел агрегатов трансмиссии

Максимальное передаточное число трансмиссии:

– из условия преодоления максимального сопротивления дороги

$$u_{\text{тр}\psi} = \frac{\psi_{\max} m_{\text{а}} g r_{\text{д}}}{k_{\text{с}} T_{e\max}^{\text{с}} \eta_{\text{тр}}}; \qquad (10.19)$$

– из условия отсутствия буксования ведущих колёс

$$u_{\text{тр}\varphi} = \frac{\varphi_x m_{\text{сц}} g r_{\text{д}}}{k_{\text{с}} T_{e\max}^{\text{с}} \eta_{\text{тр}}}; \qquad (10.20)$$

– из условия обеспечения минимальной устойчивой скорости движения

$$u_{\text{тр}V} = \frac{\omega_{e\min} r_{\text{к}}}{V_{\min}} = \frac{0{,}105 n_{e\min} r_{\text{к}}}{V_{\min}}, \qquad (10.21)$$

где $\psi_{\max}$ – максимальный коэффициент сопротивления дороги; $m_{\text{а}}$ – полная масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $r_{\text{д}}$ – динамический радиус колёс, м; $k_{\text{с}}$ – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя; $T_{e\max}^{\text{с}}$ – максимальный стендовый крутящий момент двигателя, Н·м; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии; φ_x – коэффициент продольного сцепления; $m_{\text{сц}}$ – сцепная масса, кг; $\omega_{e\min}$ ($n_{e\min}$) – минимальная устойчивая угловая скорость (частота вращения) вала двигателя, рад/с (об/мин); $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущих колёс, м; $V_{\min}$ – минимальная устойчивая скорость движения автомобиля, м/с.

Минимальное передаточное число трансмиссии

$$u_{\text{тр}\min} = \frac{\omega_{eV} r_{\text{к}}}{V_{\max}} = \frac{0{,}105 n_{eV} r_{\text{к}}}{V_{\max}}, \tag{10.22}$$

где ω_{eV} (n_{eV}) – угловая скорость (частота вращения) вала двигателя при максимальной скорости движения, рад/с (об/мин); $r_{\text{к}}$ – радиус качения ведущих колёс, м; $V_{\max}$ – максимальная скорость движения автомобиля, м/с.

Передаточное число главной передачи при $u_{\text{д}\min} = 1$

$$u_0 = \frac{u_{\text{тр}\min}}{u_{\text{к}\min}}, \tag{10.23}$$

где $u_{\text{тр}\min}$ – минимальное передаточное число трансмиссии; $u_{\text{к}\min}$ – минимальное передаточное число коробки передач; $u_{\text{д}\min}$ – минимальное передаточное число дополнительной передачи.

Передаточные числа коробки передач:

– первой передачи при $u_{\text{д}\max} = 1$

$$u_{\text{кI}} = u_{\text{к}\max} = \frac{u_{\text{тр}\max}}{u_0}; \tag{10.24}$$

– последней передачи

$$u_{\text{к}n} = u_{\text{к}\min}; \tag{10.25}$$

– промежуточных передач:

- при распределении передаточных чисел по закону геометрической прогрессии

$$u_{\text{к}m} = \gamma \sqrt[n_{\text{к}}-1]{u_{\text{кI}}^{n_{\text{к}}-m} u_{\text{к}n}^{m-1}}; \tag{10.26}$$

- при распределении передаточных чисел по гармоническому закону

$$u_{\text{к}m} = \frac{u_{\text{кI}}}{1 + \dfrac{(m-1)(u_{\text{кI}}-1)}{n_{\text{к}}-1}}, \tag{10.27}$$

где m – порядковый номер промежуточной передачи; $n_{\text{к}}$ – число передач в коробке передач; γ – коэффициент коррекции передаточных чисел при их распределении по закону геометрической прогрессии.

Передаточные числа раздаточной коробки:

– низшей передачи

$$u_{\text{р.к.н}} = \frac{\psi'_{\max} m_{\text{а}} g r_{\text{д}}}{k_{\text{с}} T^{\text{с}}_{e\max} u_{\text{кI}} u_0 \eta_{\text{тр}}}; \qquad (10.28)$$

– высшей передачи

$$u_{\text{р.к.в}} = \frac{\omega_{eV} r_{\text{к}}}{u_{\text{к}\min} u_0 V_{\max}}, \qquad (10.29)$$

где $\psi'_{\max}$ – максимальный коэффициент сопротивления дороги в ухудшенных дорожных условиях и в условиях бездорожья; $u_{\text{кI}}$, $u_{\text{к}\min}$, u_0 – передаточные числа коробки передач и главной передачи базового неполноприводного автомобиля данного семейства.

Примеры решения типовых задач

Пример 10.1. Определить полную массу междугородного автобуса большого класса. Число мест: пассажирских 50, служебных 2; показатель снаряжённой массы 233 кг/пас.; массы: пассажира 68 кг, члена экипажа 75 кг; массы на одного пассажира: багажа 12 кг, ручной клади 3 кг.

Дано: $n_{\text{п}} = 50$; $n_{\text{э}} = 2$; $\eta_n = 233$ кг/пас.; $m_{\text{п}} = 68$ кг; $m_{\text{ч}} = 75$ кг; $m_{\text{б}} = 12$ кг; $m_{\text{р.к}} = 3$ кг.

Определить: $m_{\text{а}}$.

Решение: Массы автобуса:

– снаряжённая

$$m_0 = \eta_n n_{\text{п}} = 233 \cdot 50 = 11650 \text{ кг};$$

– нагрузки

$$m_{\text{г}} = n_{\text{э}} m_{\text{ч}} + n_{\text{п}} (m_{\text{п}} + m_{\text{б}} + m_{\text{р.к}}) = 2 \cdot 75 + 50(68 + 12 + 3) = 4300 \text{ кг};$$

– полная

$$m_{\text{а}} = m_{\text{о}} + m_{\text{г}} = 11650 + 4300 = 15950 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_{\text{а}} = 15950$ кг.

Пример 10.2. Полная масса грузового автомобиля 16 т; фактор обтекаемости 4,7 Н·см^2/м^2; КПД трансмиссии 0,913; коэффициент сопротивления дороги $f = 0{,}011 + 0{,}00022V_{\text{а}}$. Определить максимальную стендовую мощность дизельного двигателя, необходимую для обеспечения максимальной скорости движения 100 км/ч и установившейся скорости движения на высшей передаче на подъёме с максимальным уклоном 3%.

Коэффициенты в уравнении мощности двигателя: a = 0,76; b = 1,13; c = 0,89; коэффициент коррекции стендовой характеристики 0,95; коэффициент приспособляемости по угловой скорости 1,58.

Дано: $m_а$ = 16 т; W = 4,7 Н·с²/м²; $\eta_{тр}$ = 0,913; f = 0,011 + 0,00022$V_а$; V_{amax} = 100 км/ч; i_{max} = 3%; a = 0,76; b = 1,13; c = 0,89; $k_с$ = 0,95; $k_ω$ = 1,58.

Определить: $P^{с}_{e\max}$.

Решение: Параметры автомобиля при движении с максимальной скоростью:

– коэффициент сопротивления дороги при i = 0

$$\psi_V = f_V + i = 0{,}011 + 0{,}00022V_а = 0{,}011 + 0{,}00022\left(\frac{100}{3{,}6}\right) = 0{,}0171;$$

– коэффициент Е у грузового автомобиля с дизельным двигателем при $\omega_{eV} = \omega_{eP} = 1$

$$\text{E} = \frac{\omega_{eV}}{\omega_{eP}} = 1;$$

– мощность двигателя, необходимая для движения автомобиля с максимальной скоростью,

$$P_{eV} = \frac{\left(\psi_V m_а g + WV^2_{\max}\right)V_{\max}}{1000\,\eta_{тр}} = \frac{\left[0{,}0171\cdot 16000\cdot 9{,}81 + 4{,}7\left(\frac{100}{3{,}6}\right)^2\right]\left(\frac{100}{3{,}6}\right)}{1000\cdot 0{,}913} =$$

$= 192$ кВт;

– действительная максимальная мощность двигателя

$$P'_{e\max} = \frac{P_{eV}}{a\text{E} + b\text{E}^2 - c\text{E}^3} = \frac{192}{0{,}76\cdot 1 + 1{,}13\cdot 1 - 0{,}89\cdot 1} = 192 \text{ кВт};$$

– стендовая максимальная мощность двигателя

$$P'^{с}_{e\max} = \frac{P'_{e\max}}{k_с} = \frac{192}{0{,}95} = 202 \text{ кВт}.$$

Параметры автомобиля при установившемся движении на высшей передаче на подъёме с максимальным уклоном:

– коэффициент E_1

$$E_1 = \frac{1}{k_\omega} = \frac{1}{1{,}58} = 0{,}633\,;$$

– критическая скорость из выражения $E_1 = \dfrac{\omega_{екр}}{\omega_{eP}} = \dfrac{\omega_{екр}}{\omega_{eV}} = \dfrac{V_{кр}}{V_{max}}$

$$V_{а.кр} = E_1 V_{a\,max} = 0{,}633 \cdot 100 = 63{,}3 \text{ км/ч};$$

– коэффициент сопротивления качению

$$f = 0{,}011 + 0{,}00022 V_{а.кр} = 0{,}011 + 0{,}00022\left(\frac{63{,}3}{3{,}6}\right) = 0{,}0149\,;$$

– максимальный динамический фактор

$$D_{V\,max} = f + i_{max} = 0{,}0149 + \left(\frac{3}{100}\right) = 0{,}0449\,;$$

– мощность двигателя, необходимая для движения с критической скоростью,

$$P_{eD} = \frac{\left(D_{V\,max} m_а g + W V_{кр}^2\right) V_{кр}}{1000\,\eta_{тр}} = \frac{\left[0{,}0449 \cdot 16000 \cdot 9{,}81 + 4{,}7\left(\frac{63{,}3}{3{,}6}\right)^2\right]\left(\frac{63{,}3}{3{,}6}\right)}{1000 \cdot 0{,}913} =$$

$= 41$ кВт;

– действительная максимальная мощность двигателя

$$P''_{e\,max} = \frac{P_{eD}}{aE_1 + bE_1^2 - cE_1^3} = \frac{41}{0{,}76 \cdot 0{,}633 + 1{,}13 \cdot 0{,}663^2 - 0{,}89 \cdot 0{,}663^3} = 58 \text{ кВт};$$

– стендовая максимальная мощность двигателя

$$P''^{с}_{e\,max} = \frac{P''_{e\,max}}{k_с} = \frac{58}{0{,}95} = 61 \text{ кВт}.$$

Максимальная стендовая мощность двигателя

$$202 \text{ кВт} > 61 \text{ кВт};\ P'^{с}_{e\,max} > P''^{с}_{e\,max};\ P^{с}_{e\,max} = P'^{с}_{e\,max} = 202 \text{ кВт}.$$

Ответ: $P^{с}_{e\,max} = 202$ кВт.

Пример 10.3. Определить передаточные числа четырёхступенчатой коробки передач легкового автомобиля классической компоновки с высшей прямой передачей. Полная масса автомобиля 2700 кг; максимальный стендовый крутящий момент двигателя 318 Н·м; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95; КПД трансмиссии 0,93; передаточное число главной передачи 3,9; динамический радиус колёс 0,315 м; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,4; коэффициент коррекции промежуточных передач коробки передач 0,96.

Дано: $n_к = 4$; $u_{кIV} = 1{,}00$; $m_а = 2700$ кг; $T^{с}_{e\max} = 318$ Н·м; $k_с = 0{,}95$; $\eta_{тр} = 0{,}93$; $u_0 = 3{,}9$; $r_д = 0{,}315$ м; $\psi_{\max} = 0{,}4$; $\gamma_{II} = \gamma_{III} = 0{,}96$.

Определить: $u_{кI}$; $u_{кII}$; $u_{кIII}$.

Решение: Максимальное передаточное число трансмиссии из условия преодоления максимального сопротивления дороги

$$u_{тр\psi} = \frac{\psi_{\max} m_а g r_д}{k_с T^{с}_{e\max} \eta_{тр}} = \frac{0{,}4 \cdot 2700 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}315}{0{,}95 \cdot 318 \cdot 0{,}93} = 11{,}88 .$$

Передаточные числа коробки передач:

– первой передачи

$$u_{кI} = u_{к\max} = \frac{u_{тр\max}}{u_0} = \frac{11{,}88}{3{,}9} = 3{,}05 ;$$

– четвёртой передачи

по условию задачи $u_{кIV} = u_{кn} = 1{,}00$;

– второй передачи

$$u_{кII} = \gamma_{II} \sqrt[n_к - 1]{u_{кI}^{n_к - m} u_{кn}^{m-1}} = 0{,}96 \sqrt[4-1]{3{,}05^{4-2} \cdot 1{,}00^{2-1}} = 0{,}96 \sqrt[3]{3{,}05^2 \cdot 1{,}00} = 2{,}02 ;$$

– третьей передачи

$$u_{кIII} = \gamma_{III} \sqrt[n_к - 1]{u_{кI}^{n_к - m} u_{кn}^{m-1}} = 0{,}96 \sqrt[4-1]{3{,}05^{4-3} \cdot 1{,}00^{3-1}} = 0{,}96 \sqrt[3]{3{,}05 \cdot 1{,}00^2} = 1{,}39 .$$

Ответ: $u_{кI} = 3{,}05$; $u_{кII} = 2{,}02$; $u_{кIII} = 1{,}39$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 10.1. Рассчитать полную массу грузового автомобиля грузоподъёмностью 3,5 т, имеющего трёхместную кабину. Коэффициент снаряжённой массы 0,7; масса члена экипажа 75 кг; масса багажа на одного члена экипажа 5 кг.

Задача 10.2. Определить полную массу городского автобуса вместимостью 110 человек. Показатель снаряженной массы 85 кг/пас.; масса

пассажира 68 кг; масса багажа одного пассажира 5 кг. Масса членов экипажа включена в снаряжённую массу.

Задача 10.3. Чему равна полная масса легкового пятиместного автомобиля, если масса неснаряжённого автомобиля 970 кг; масса снаряжения 90 кг; масса заправки составляет 5% массы неснаряжённого автомобиля; среднюю массу человека принять равной 80 кг; масса багажа на одного пассажира 10 кг.

Задача 10.4. На основании статистической обработки мирового выпуска легковых автомобилей установлено, что зависимость снаряжённой и полной масс седанов среднего класса от их габаритной длины аппроксимируется полиномами $8519{,}2 - 3915L_{\text{г}} + 510{,}2L_{\text{г}}^2$ и $1331{,}2 - 206{,}4L_{\text{г}} + 59{,}2L_{\text{г}}^2$ соответственно. Определить снаряжённую и полную массы седана габаритной длиной 4,4 м. Во сколько раз возрастут эти массы у седана представительского класса габаритной длиной 6,17 м? Аппроксимирующие полиномы седанов представительского класса для снаряжённой и полной масс $297{,}7 - 209{,}2L_{\text{г}} + 103{,}3L_{\text{г}}^2$ и $-5305{,}6 + 2010{,}2L_{\text{г}} - 95{,}6L_{\text{г}}^2$ соответственно.

Задача 10.5. Определить максимальную стендовую мощность двигателя легкового автомобиля. Масса снаряжённого автомобиля 1070 кг; масса водителя 80 кг; масса его багажа 35 кг; максимальная скорость 160 км/ч; фактор обтекаемости 0,37 Н·с^2/м^2; КПД трансмиссии 0,92; коэффициент сопротивления качению рассчитывается по формуле $f = 0{,}01 + 5 \cdot 10^{-6} V_{\text{а}}^2$; отношение угловых скоростей коленчатого вала двигателя при максимальной скорости и максимальной мощности 1; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95.

Задача 10.6. Полная масса легкового автомобиля 1570 кг; максимальная скорость 175 км/ч; коэффициент обтекаемости 0,38; плотность воздуха 1,22 кг/м^3; габаритные ширина 1,7 м, высота 1,48 м; коэффициент полноты поперечного сечения 0,78; КПД трансмиссии 0,93; коэффициент сопротивления качению при максимальной скорости движения 0,021; отношение угловых скоростей вала двигателя при максимальной скорости и максимальной мощности 1,07; коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,4; b = 2,2; c = 1,6. Найти действительную максимальную мощность двигателя.

Задача 10.7. Определить максимальную мощность бензинового двигателя автобуса полной массой 2710 кг, который развивает максимальную скорость 130 км/ч при движении по дороге с коэффициентом сопротивления 0,018. Коэффициент обтекаемости 0,7; плотность воздуха 1,225 кг/м^3; площадь миделева сечения 3 м^2; КПД трансмиссии 0,91; коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,31; b = 2,38; c = 1,69; отноше-

ние угловых скоростей вала двигателя при максимальной скорости и максимальной мощности 1,05.

Задача 10.8. Определить максимальную стендовую мощность двигателя автобуса полной массой 12 т, имеющего максимальную скорость 100 км/ч при коэффициенте сопротивления дороги 0,02. Коэффициент сопротивления воздуха 0,7 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 5,7 м^2; КПД трансмиссии 0,89; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95; коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,55; b = 1,9; c = 1,45; отношение угловых скоростей коленчатого вала при максимальной скорости и максимальной мощности равно 0,85.

Задача 10.9. Полная масса магистрального автопоезда 30 т; фактор обтекаемости 3,2 Н·с^2/м^2; коэффициент полезного действия трансмиссии 0,9. Максимальная скорость движения на горизонтальной дороге 120 км/ч. Найти отношение мощностей двигателя при движении с максимальной скоростью в случае применения шин 300/70R20 и 320/65R22,5, у которых коэффициенты сопротивления качению $f = 0{,}01 + 0{,}0002\,V$ и $f = 0{,}007 + 0{,}00014\,V$ соответственно.

Задача 10.10. Грузовой автомобиль должен иметь максимальный динамический фактор на прямой передаче 0,045 при скорости 60 км/ч; полная масса автомобиля 7400 кг; максимальная скорость по ограничителю 90 км/ч; коэффициент сопротивления воздуха 0,55 Н·с^2/м^4; площадь миделева сечения 3,8 м^2; КПД трансмиссии на прямой передаче 0,91; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; отношение угловых скоростей вала двигателя при максимальной скорости и максимальной мощности 0,9. Определить стендовую мощность двигателя по ограничителю. Дизельный двигатель имеет коэффициенты скоростной характеристики: a = 0,44; b = 2,12; c = 1,56.

Задача 10.11. У магистрального автопоезда грузоподъёмностью 35 т коэффициент использования снаряженной массы 0,45; фактор обтекаемости 4,25 Н·с^2/м^2; коэффициент полезного действия трансмиссии 0,9. Двигатель тягача должен обеспечивать на прямой передаче установившуюся скорость автопоезда на подъеме 3% не менее 40 км/ч и максимальную скорость на горизонтальной дороге 90 км/ч. Определить необходимую максимальную стендовую мощность двигателя, у которого угловая скорость при максимальной скорости равна угловой скорости при максимальной мощности и коэффициенты скоростной характеристики двигателя: a = 0,55; b = 1,9; c = 1,45, если коэффициент сопротивления качению определяется зависимостью $f = 0{,}013 + 0{,}00026\,V$. Коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,93.

Задача 10.12. Полная масса магистрального автопоезда 50 т; фактор обтекаемости 4 Н·с^2/м^2; коэффициент полезного действия трансмиссии

0,89. Какую максимальную мощность должен развивать двигатель тягача, чтобы обеспечить установившуюся скорость движения на подъеме 4% не менее 35 км/ч и максимальную скорость на горизонтальной дороге 110 км/ч? Угловая скорость вала двигателя при максимальной скорости равна его угловой скорости при максимальной мощности. Коэффициенты, характеризующие тип двигателя, $a = b = c = 1$. На автопоезде могут устанавливаться шины 275/75R20 или 300/70R22,5, у которых коэффициенты сопротивления качению на асфальтобетонной дороге равны $f = 0{,}012 + 0{,}00024\,V$ и $f = 0{,}01 + 0{,}0002\,V$ соответственно.

Задача 10.13. Легковой автомобиль развивает максимальную скорость 200 км/ч; частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности 5300 об/мин; шины 195/65R14; коэффициент нормальной деформации шин 0,83. Найти передаточное число главной передачи, если отношение угловых скоростей вала двигателя при максимальной скорости и максимальной мощности равно 1,05. Высшая передача прямая.

Задача 10.14. Двигатель легкового автомобиля развивает максимальную стендовую мощность 112 кВт при частоте вращения коленчатого вала 5200 об/мин. Полная масса автомобиля 1440 кг; фактор обтекаемости 0,45 $Н \cdot с^2/м^2$; КПД трансмиссии 0,92; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95; радиус качения колёс 0,303 м. Подобрать передаточное число главной передачи с таким расчётом, чтобы при движении по дороге с коэффициентом сопротивления 0,025 на передаче с передаточным числом 1,03 автомобиль двигался с максимальной скоростью при работе двигателя на режиме максимальной мощности.

Задача 10.15. Максимальная скорость грузового автомобиля 90 км/ч; частота вращения вала двигателя при максимальной мощности 3500 об/мин; отношение угловых скоростей при максимальной скорости и максимальной мощности 0,9; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,325 м. Определить передаточные числа главной передачи для двух вариантов конструкций коробки передач: а) высшая передача прямая; б) высшая передача повышающая с передаточным числом 0,85.

Задача 10.16. Определить передаточное число колёсных планетарных редукторов главной передачи автобуса, если максимальному динамическому фактору на прямой передаче соответствует скорость 50 км/ч и частота вращения вала двигателя 1800 об/мин. Шины 260/65R22,5; коэффициент нормальной деформации шин 0,86; передаточное число центральной передачи 2,4.

Задача 10.17. Полная масса грузового автомобиля с колёсной формулой 4×2 7450 кг; максимальная стендовая мощность двигателя 103 кВт при частоте вращения вала 3200 об/мин; коэффициент приспособляемости

по крутящему моменту 1,2; коэффициент коррекции стендовой характеристики 0,94; КПД трансмиссии 0,9; статический радиус колёс 0,32 м; передаточное число главной передачи 5,125; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,35. Определить передаточное число первой передачи коробки передач.

Задача 10.18. По условию задачи 10.17 определить, возможно ли буксование ведущих колёс автомобиля, если приходящаяся на них масса составляет 65% полной массы автомобиля; коэффициент изменения нормальных реакций на ведущие колёса 1,1; коэффициент продольного сцепления 0,7.

Задача 10.19. Легковой переднеприводный автомобиль должен развивать на высшей передаче максимальную скорость 180 км/ч. Шины 185/70R14; коэффициент нормальной деформации шин 0,86; передаточное число главной передачи 4,1; частота вращения вала двигателя при максимальной скорости 5600 об/мин. Подобрать передаточное число высшей передачи коробки передач.

Задача 10.20. Рассчитать передаточные числа четырёхступенчатой коробки передач грузового автомобиля, если известно, что передаточное число первой передачи 4,55; четвёртая передача прямая; коэффициенты коррекции передаточных чисел: 0,95 на второй передаче, 0,96 – на третьей.

Задача 10.21. Определить передаточные числа пятиступенчатой коробки передач грузового автомобиля с высшей прямой передачей. Масса автомобиля 18000 кг; максимальная стендовая мощность двигателя 200 кВт при 2300 об/мин; коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту 1,18; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; КПД трансмиссии 0,88; передаточное число главной передачи 6,45; динамический радиус колёс 0,49 м; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,31; коэффициенты коррекции передаточных чисел: на второй передаче 0,97, на третьей – 0,96, на четвёртой – 0,95.

Задача 10.22. Определить передаточные числа пятиступенчатой коробки передач грузопассажирского автомобиля полной массой 2800 кг. Максимальная стендовая мощность двигателя 66,2 кВт при частоте вращения вала 4500 об/мин; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,96; коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту 1,23; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,32; КПД трансмиссии 0,92; статический радиус колёс с радиальными шинами 0,316 м; коэффициент продольного сцепления 0,7; масса, приходящаяся на заднюю ведущую ось, 1470 кг; коэффициент изменения нормальных реакций на задние колёса 1,2; минимальная частота вращения вала двигателя 1500 об/мин; минимальная устойчивая скорость 18 км/ч; передаточные числа: главной передачи 4,56, четвёртой и пятой передач

коробки передач 1,00 и 0,85 соответственно; коэффициент коррекции передаточных чисел на второй и третьей передачах 0,92.

Задача 10.23. Рассчитать передаточные числа четырёхступенчатой коробки передач легкового автомобиля классической компоновки с высшей прямой передачей. Полная масса автомобиля 2200 кг; максимальный стендовый крутящий момент двигателя 238 Н·м; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; КПД трансмиссии 0,93; передаточное число главной передачи 3,9; динамический радиус колёс 0,305 м; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,36; коэффициент коррекции передаточных чисел промежуточных передач 0,97.

Задача 10.24. Рассчитать передаточные числа пятиступенчатой коробки передач легкового автомобиля классической компоновки с высшей повышающей передачей. Полная масса автомобиля 2000 кг; максимальный стендовый крутящий момент двигателя 323 Н·м; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9; КПД трансмиссии 0,93; передаточное число главной передачи 3,9; на автомобиль устанавливаются шины 205/65R15; коэффициент нормальной деформации шин 0,84; максимальный коэффициент сопротивления дороги 0,45; передаточные числа четвёртой и пятой передач 1,0 и 0,8; коэффициенты коррекции передаточных чисел второй и третьей передач 0,98 и 0,96 соответственно.

Задача 10.25. Подобрать передаточные числа пятиступенчатой коробки передач легкового переднеприводного автомобиля с пятой повышающей передачей. Передаточное число первой передачи выбрать из условия отсутствия буксования ведущих колёс при коэффициенте их продольного сцепления с поверхностью дороги, равном 0,8. Полная масса автомобиля 1780 кг; на переднею ось приходится 54% полной массы; максимальный крутящий момент двигателя 150 Н·м; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,95; КПД трансмиссии 0,93; передаточное число главной передачи 4,06; на автомобиль устанавливаются шины 195/60R15; коэффициент нормальной деформации шин 0,87; коэффициент изменения нормальных реакций на передние колёса 0,9; коэффициент коррекции передаточных чисел второй и третьей передач 0,93; передаточное число четвёртой передачи 1,03.

Задача 10.26. Определить передаточное число «ползучей» передачи грузового автомобиля. Минимальная частота вращения вала двигателя 650 об/мин; минимальная скорость 2 км/ч; передаточное число главной передачи 5,85; шины 260/75R22,5; коэффициент нормальной деформации шин 0,84.

Задача 10.27. Подобрать передаточное число первой передачи коробки передач автомобиля повышенной проходимости из условия преодоления максимального сопротивления дороги с коэффициентом 0,8. Полная

масса автомобиля 5900 кг; на заднюю ось приходится 50% полной массы; коэффициент изменения нормальных реакций на задние колёса 1,2; максимальный стендовый крутящий момент двигателя 350 Н·м; коэффициент его коррекции 0,96; КПД трансмиссии 0,85; передаточные числа: главной передачи 6,83, дополнительной передачи 1,83; динамический радиус колёс 0,51 м. Определить величину коэффициента сцепления, при котором начнётся буксование ведущих колёс при следующих условиях: а) задние колёса ведущие; б) все колёса ведущие.

Задача 10.28. Определить передаточное число низшей передачи раздаточной коробки полноприводного легкового автомобиля из условия преодоления максимального сопротивления дороги с коэффициентом 0,5. Полная масса автомобиля 1610 кг; максимальная стендовая мощность двигателя 59,5 кВт при частоте вращения вала 5200 об/мин; коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту 1,15; коэффициент коррекции стендовой характеристики 0,9; КПД трансмиссии 0,88; передаточные числа: главной передачи 3,9, первой передачи коробки передач 3,67; на автомобиль устанавливаются шины 205/70R16; коэффициент нормальной деформации шин 0,84.

Задача 10.29. Найти передаточное число низшей передачи раздаточной коробки полноприводного грузового автомобиля из условия отсутствия буксования ведущих колёс при коэффициенте их продольного сцепления 0,65. Полная масса автомобиля 12500 кг; максимальный стендовый крутящий момент двигателя 410 Н·м; передаточные числа: главной передачи 7,34, первой передачи коробки передач 7,44; шины 305/75R20; коэффициент нормальной деформации шин 0,86; КПД трансмиссии 0,85; коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя 0,9.

Задача 10.30. Рассчитать передаточное число низшей ступени раздаточной коробки автомобиля повышенной проходимости из условия обеспечения минимальной устойчивой скорости движения, равной 7 км/ч. Минимальная устойчивая частота вращения вала двигателя 1000 об/мин; передаточные числа: первой передачи коробки передач 3,67, главной передачи 3,9; размер широкопрофильных шин 1300×600–533; коэффициент нормальной деформации шин 0,9.

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

К задачам раздела 1

1.1. 0,334 м; 0,311 м. 1.2. 0,581 м; больше на 3,8%. 1.3. 0,593 м. 1.4. 0,625; 0,429. 1.5. 0,327. 1.6. 11405 об.; 2850 об/мин; 6331 об.; 2110 об/мин. 1.7. 2 км/ч; 93,6 км/ч. 1.8. У грузового автомобиля выше на 23%. 1.9. 3,81. 1.10. 410 рад/с. 1.11. 45 км/ч; 77 км/ч; 117 км/ч; 5600 об/мин. 1.12. 0,53 м. 1.13. 7,49. 1.14. 1,79 м/с^2. 1.15. На второй передаче. 1.16. 145 рад/с^2. 1.17. 36,4 рад/с^2. 1.18. 2,5 кН. 1.19. 0,012; 4,4 кН·м. 1.20. 38,1 рад/с^2. 1.21. Возрастёт в 1,6 раза; 1,45 раза; 1,23 раза. 1.22. 0,21. 1.23. Невозможно. 1.24. В 1,53 раза. 1.25. На 42%. 1.26. а) 292 Н; 8,9 кВт; б) 541 Н; 16,5 кВт. 1.27. 0,266; 103 кВт. 1.28. 5%. 1.29. Увеличилась на 23%. 1.30. На 10,6%. 1.31. В 2,25 раза; в 2,25 раза. 1.32. 1,17; 1,5. 1.33. 80,9 Н·м; 29 кВт. 1.34. 1020 Н·м; 178 кВт. 1.35. 51,5 кВт; 38,5 кВт. 1.36. 125,5 кВт; 160 кВт. 1.37. 0,93. 1.38. 17,1 кВт. 1.39. На 13,7%. 1.40. 0,895. 1.41. 0,926. 1.42. 2,352 кН·м. 1.43. 78 кН. 1.44. 152 кВт. 1.45. 43,3 кВт. 1.46. 4 кН. 1.47. 35,1 кВт. 1.48. 6,24 кН. 1.49. 21,8 кН. 1.50. 5,4 кН. 1.51. 36,8 кН. 1.52. На 43,5%. 1.53. 2,67; 1,58; 1,23; 1,16; 1,13. 1.54. 5,16 кН; 3,43 кН; 2,37 кН; 1,53 кН; 1,08 кН. 1.55. 9°53′. 1.56. На 81,8%. 1.57. 11°13′. 1.58. 1,35 м/с^2; 1,4 м/с^2. 1.59. 0,51. 1.60. Не может. 1.61. 19 кН; 5 м/с^2. 1.62. 11,7 кН; 4,9 кН. 1.63. 20,92 кН; 80,66 кН; 80,66 кН. 1.64. 0,9; 1,05. 1.65. 1,44; 0,76.

К задачам раздела 2

2.1. 5°9′; 2°25′. 2.2. 80 км/ч. 2.3. 18 км/ч; попутный. 2.4. 0,61 м/с^2. 2.5. 0,46 Н·с^2/м^2; 0,0126. 2.6. 2,6%. 2.7. 0,6%. 2.8. 1 м/с^2; 0,92 м/с^2. 2.9. 7°6′; 3°50′. 2.10. Подъём 7°6′ не преодолеет; подъём 3°50′ преодолеет со скоростью менее 53 км/ч. 2.11. 1,99 кН. 2.12. 1,7%. 2.13. 0,008. 2.14. 0,34 м/с^2; 0,25 м/с^2. 2.15. 16 кН; 5,2 кН. 2.16. 157 км/ч; уменьшится на 4 км/ч. 2.17. 227 кВт. 2.18. 21,4 т. 2.19. 251 кВт. 2.20. 139 км/ч. 2.21. 1,34 м/с^2. 2.22. 9 т. 2.23. 3°. 2.24. 47 км/ч; встречный. 2.25. 10°41′. 2.26. 42,7 кВт. 2.27. 0,02. 2.28. 0,068. 2.29. Увеличится на 62,8%. 2.30. 0,055. 2.31. 0,038; 0,025. 2.32. 0,066; увеличится на 30%. 2.33. 0,11. 2.34. 1,22 м/с^2. 2.35. 0,017; увеличится на 100%. 2.36. Увеличится в 1,53 раза. 2.37. 7°10′. 2.38. 0,63. 2.39. 35°45′. 2.40. 0,69 м/с^2. 2.41. 0,0125. 2.42. 0,67 м/с^2. 2.43. 0,14 м/с^2. 2.44. На 7%. 2.45. 0,26 м/с^2. 2.46. 0,01. 2.47. 1,39 м/с^2. 2.48. 2,2 м/с^2. 2.49. 0,18. 2.50. 0,67. 2.51. 14 с. 2.52. Уменьшится на 1,14 с. 2.53. 77 с; 1043 м. 2.54. 1410 м. 2.55. 0,78 км/ч и 4,1 м;

0,86 км/ч и 7,4 м; 1,19 км/ч и 14,6 м. 2.56. 74 с. 2.57. 0,012; 0,3 Н·с^2/м^2. 2.58. 171 с; 1178 м. 2.59. 415 с; 5716 м. 2.60. 13,7 с и 342 м; 9,4 с и 249 м; более безопасен второй вариант.

К задачам раздела 3

3.1. 6,4 л/100 км; 7 л/100 км. 3.2. 6,4 л/100 км; 7,5 л/100 км. 3.3. 7,9 л/100 км; 9,2 л/100 км. 3.4. 42 л/100 км. 3.5. 21,2 л/100 км. 3.6. 10,3 л/100 км; 14,5 л/100 км. 3.7. Увеличится в 1,5 раза; увеличится в 1,12 раза. 3.8. 27,7 л/100 км. 3.9. 4,8 л/100 км. 3.10. 6,9 л/100 км. 3.11. Увеличится на 4,7%. 3.12. Увеличится в 1,48 раза. 3.13. 32,7 л/100 км; 22,5 л/100 км. 3.14. Нет. 3.15. 18,7 л/100 км. 3.16. 47,6 л/100 км. 3.17. 36,8 л/100 км. 3.18. 33,3 л/100 км. 3.19. 23,7 л/100 км. 3.20. 50,8 л/100 км. 3.21. 157 л/100 км. 3.22. 53,8 л/100 км. 3.23. 138 л/100 км. 3 24. 16,7 л/100 км. 3.25. 13,1 т. 3.26. 0,17 м/с^2. 3.27. 6%. 3.28. 0,18 м/с^2. 3.29. 77,5 км/ч. 3.30. 0,18 м/с^2; 0,28 м/с^2. 3.31. 10,8 т. 3.32. 0,22 м/с^2. 3.33. 4,7%. 3.34. 24,2 л/100 км. 3.35. 56 км/ч. 3.36. 56,8 л/100 км. 3.37. 6%. 3.38. 18,8 л. 3.39. На 175 км. 3.40. На 28%. 3.41. 6,3 л/(100 т·км). 3.42. Уменьшится в 1,16 раза. 3.43. 7 л/(100 т·км) и 7,9 л/(100 т·км); 8,8 л/(100 т·км) и 10,1 л/(100 т·км); 12,6 л/(100 т·км) и 14,5 л/(100 т·км). 3.44. 11,5 л/(100 т·км). 3.45. 0,7 л/(100 пас.·км). 3.46. 3,7 л/(100 т·км). 3.47. 41,5 л. 3.48. 230,2 л. 3.49. 375 л. 3.50. 1845 л.

К задачам раздела 4

4.1. 1 – 4,3; 2 – 1,17; 2,33; 3 – 1. 4.2. 2150 об/мин и 420 Н·м; 2340 об/мин и 450 Н·м; 3870 об/мин и 480 Н·м. 4.3. 0 рад/с; 910 Н·м и 0 кВт; 270 рад/с; 383 Н·м и 103,4 кВт; 477 рад/с; 300 Н·м и 143,1 кВт. 4.4. 50 км/ч; 17,23 кН; в 3,05 раза. 4.5. III; IV; V; 0,33 м/с^2; 0,38 м/с^2; 0,35 м/с^2. 4.6. 39,4%; 40,9%; 44,8%. 4.7. 37°50′; 20°25′; 12°42′; 8°21′; 4°15′. 4.8. 0,03; в 3,78 раза. 4.9. 0,05; уменьшится на 20%. 4.10. 3,45 м/с^2; 1,4 м/с^2. 4.11. 43 с. 4.12. 205 м. 4.13. 54,9 л/100 км. 4.14. 137 л/100 км. 4.15. 0,315 м. 4.16. 0,979. 4.17. 2,89. 4.18. 2,41. 4.19. 3,53. 4.20. 3.

К задачам раздела 5

5.1. 1852 Н; а) на 99,4%; б) на 1,5%; в) на 1,6%. 5.2. 1,79 м/с^2. 5.3. 1273 Н·м; 1,9%; 5.4. 1811 Н·м. 5.5. 18,4 кН·м. 5.6. 4,54 м/с^2. 5.7. 4026 Н·м. 5.8. 0,106; 0,04; 8,6%. 5.9. 0,784 м/с^2; 11,345 кН·м. 5.10. 15,7 с; 183 м. 5.11. Уменьшатся на 43%. 5.12. 2,29 с; 50,3 м. 5.13. 6,576 кН; уменьшится в 1,13 раза; уменьшится в 1,3 раза. 5.14. 42 кН·м; уменьшится на 10,3%. 5.15. а) 5 м/с^2; 3,1 с; 23,3 м; б) 3,22 м/с^2; 4,8 с; 35,6 м. 5.16. 17,1 м. 5.17. 15°12′.

5.18. Уменьшится на 18%. 5.19. 6,14 м/с^2; уменьшится на 2,3%. 5.20. 6 с; 86,3 м. 5.21. 25,4 м. 5.22. 4,48 м/с^2. 5.23. 6 м/с^2; увеличится на 14,5%. 5.24. 80 км/ч. 5.25. 12,95 кН; 8,06 кН. 5.26. Увеличатся на 47%; уменьшатся на 43%. 5.27. 18,8 кН; 11,8 кН; увеличатся на 5,3%; уменьшатся на 8,5%. 5.28. В 1,26 раза; в 1,35 раза. 5.29. 1,67 : 1 : 1. 5.30. 0,56. 5.31. 1,27 м. 5.32. 3,4 м/с^2. 5.33. 319 кг. 5.34. 100,6 м. 5.35. 3,39 м/с^2; 72,8 м. 5.36. 8,1 м. 5.37. Уменьшится на 10%. 5.38. На 35,7%. 5.39. 2,91 м/с^2. 5.40. На 26%. 5.41. 3,67 м/с^2. 5.42. На 30,2 м. 5.43. На 9,7 м. 5.44. 141 м. 5.45. Заднего; на 18,9%. 5.46. а) 1,37; б) 1,82. 5.47. 9,52 кН·м. 5.48. 18,07 кН; 10%. 5.49. 36%; 25%. 5.50. 32,8 м; уменьшится на 30%.

К задачам раздела 6

6.1. Возможен. 6.2. 2246 Н·м; 450 Н·м; возможен. 6.3. 331 кН/рад; а) увеличится на 35,3%; б) увеличится на 6,9%; в) увеличится на 16%. 6.4. а) 71,6 кН/рад; б) 21 кН/рад; в 3,4 раза. 6.5. а) 71,6 кН/рад; б) 27 кН/рад. 6.6. 31°48′; 44°19′. 6.7. Уменьшится на 7,8%. 6.8. 14°18′; 16°13′; 360°. 6.9. 18°30′; 0,133 рад/с. 6.10. 2°33′; увеличится на 5,4%. 6.11. 57,3 м; 0,39 рад/с. 6.12. а) 2,462 кН; б) 4,389 кН; на 78,3%. 6.13. а) 430 кН; б) 410 кН; 4,65%. 6.14. а) 0,98; 1,01; б) 0,97; 1,03. 6.15. 11,07 кН; 8,73 кН. 6.16. 12,89 кН; 9,65 кН; в 1,16 раза; в 1,11 раза. 6.17. 7,05 кН; 8,31 кН. 6.18. 7,66 кН; 9,17 кН. 6.19. 90,1%; 7,7% и 2,2%; 99,7%; 0,2% и 0,1%. 6.20. 93,9%; 4,8% и 1,3%; 95%; 4% и 1%. 6.21. Увеличится на 16 м. 6.22. Уменьшится на 11′. 6.23. Уменьшится на 30,7%. 6.24. Избыточную и 2386 м; недостаточную и 1729 м. 6.25. Недостаточная; 1094 м. 6.26. 6,66 1/с и избыточная; 3,02 1/с и недостаточная. 6.27. 4°26′; недостаточная. 6.28. 9°3′; уменьшится на 34,8%. 6.29. 24,52 кН·м/рад; 122,62 кН·м/рад. 6.30. 0,49 м. 6.31. 1°15′. 6.32. 5,268 кН и 1,196 кН; 5,901 кН и 1,809 кН. 6.33. 18,325 кН и 6,935 кН; 53,227 кН и 14,953 кН; ± 45%; ± 56%. 6.34. 41,069 кН и 11,124 кН; 57,411 кН и 22,541 кН; 1,57 и 0,43; 1,44 и 0,56. 6.35. Увеличится в 1,18 раза. 6.36. 54°30′; 113°20′; увеличится в 2,1 раза. 6.37. 0,0098 1/м; 0,00033 1/м. 6.38. 0,021 1/м; увеличится на 0,0006 1/м. 6.39. 33,7 Н·м; увеличится на 8,3%. 6.40. 29,4 Н·м; уменьшится на 74%. 6.41. 160 Н·м. 6.42. 0,56 кН·м; 0,32 кН·м. 6.43. 881 Н·м; уменьшится на 55%. 6.44. 106 Н·м. 6.45. 5,21 м; 5,56 м. 6.46. 2,32 м. 6.47. 608°; 1,69 об. 6.48. 4,23 м. 6.49. 0,7 м. 6.50. 0,26 м.

К задачам раздела 7

7.1. Больше 38,6 кН/рад. 7.2. 270 км/ч. 7.3. 100 км/ч. 7.4. 155 км/ч. 7.5. Увеличить на 0,13 МПа. 7.6. Меньше 62,5 кН/рад. 7.7. Возможно; возможно. 7.8. 38°56′; увеличить на 0,42 м; уменьшить на 0,25 м. 7.9. Возможно; возможно. 7.10. 45°; в 1,14 раза. 7.11. 45°20′; 34°59′ и 24°13′; 22,8% и 46,6%. 7.12. Возможно; невозможно. 7.13. 16,32 кН·м/рад. 7.14. 60 км/ч; 82 км/ч; 0,37. 7.15. 57 км/ч; увеличится на 42%. 7.16. Меньше на 18,8%. 7.17. 79 м; 0,64. 7.18. Невозможно; увеличить на 0,57 м; уменьшить на 0,35 м. 7.19. 1,38 м. 7.20. 1,32 м; 0,76. 7.21. 90 км/ч; уменьшится на 12,2%. 7.22. 37,6 м; больше в 1,5 раза. 7.23. 91 км/ч; увеличится на 9,7%. 7.24. Увеличится на 1%. 7.25. 125 км/ч; 45°55′. 7.26. 201 м; увеличится в 1,59 раза. 7.27. Меньше 4°54′. 7.28. 19°28′. 7.29. 59 км/ч; в 2,48 раза. 7.30. 90 км/ч; уменьшится на 30%. 7.31. 1,46 : 1,31 : 1. 7.32. а) 5,13 кН; б) 3,7 кН. 7.33. 32°52′. 7.34. Возможен. 7.35. 169 м. 7.36. 97 км/ч; 97,6 км/ч. 7.37. 73,4 км/ч; 53,3 км/ч. 7.38. 3,6 м/с^2. 7.39. 1,46 кН. 7.40. Возможно. 7.41. 7°54′; увеличится в 4 раза. 7.42. 17°48′; увеличится в 2,14 раза. 7.43. 23°16′; уменьшится на 36,5%. 7.44. 32°23′ и 17°36′; в 1,22 раза и в 1,44 раза. 7.45. 28°42′; 36°15′; 42°21′; 63°43′. 7.46. Возможно; невозможно. 7.47. Невозможно; возможно. 7.48. 57°17′ и 1°41′; увеличится на 6,7% и на 147%. 7.49. 2,54 м; 1,16 м. 7.50. На 0,21 м ближе к передней оси.

К задачам раздела 8

8.1. Без пассажиров 14,2 см; 27,5 кН/м; 9,4 см; 6,7 см; 2,05; с пассажирами 20,3 см; 23,5 кН/м; 6,1 см; 10 см; 1,67. 8.2. 1,43 см; 420 кН/м; в 1,43 раза; в 3,5 раза. 8.3. 3,6 кН·с/м; 6,6. 8.4. 0,96 см; 0,92 см/с; увеличится в 6,8 раза; увеличится в 1,6 раза. 8.5. 1 Гц; 6,28 рад/с; 62,8 рад/с; 0,1 с; уменьшится в 2 раза; уменьшится в 2 раза; уменьшится в 4 раза; увеличится в 4 раза. 8.6. 0,293; уменьшится в 1,6 раза. 8.7. 0,54 с; 2,22 1/с; 0,556 1/с; 6,67 1/с; 0,156. 8.8. 0,026 см^2; уменьшится в 10,4 раза. 8.9. 0,00663 см^2/с; увеличится в 1,21 раза. 8.10. 333 кН/м; 481кН/м и 596 кН/м; на 28%; на 36%; на 44%. 8.11. 40,2 кН/м. 8.12. – 0,0285 м; 0,104 м/с; – 2,77 м/с^2. 8.13. 2. 8.14. На 30%; 202 кН/рад. 8.15. 1,11; 1,24. 8.16. 7,70 рад/с; 8,78 рад/с. 8.17. 7,09 рад/с; 8,20 рад/с; на 15,5%; на 13,5%. 8.18. 6,77 рад/с; 8,13 рад/с; на 0,47%; на 0,74%. 8.19. 0,86; 0,89. 8.20. 6,33 рад/с; 69,26 рад/с; на 6,6%; на 0,06%. 8.21. 10,95 рад/с; 50,69 рад/с; на 9,1%; на 0,5%. 8.22. 12,93 рад/с; 71,56 рад/с. 8.23. 10,53 рад/с; 37,83 рад/с; уменьшится на 4,0%; уменьшится на 2,1%. 8.24. 1,577 кН. 8.25. 6,36 рад/с; – 3 м/с^2. 8.26. 0,305; увеличится в 1,15 раза. 8.27. 9 кН·с/м. 8.28. 0,15; 1,94 см. 8.29. 0,25; 0,23. 8.30. 41,04 кН/м; 1,46 кН·с/м. 8.31. 79%; 74%. 8.32. 0,215; 0,17; увеличится на 22%; не изме-

нится. 8.33. 2,58 см. 8.34. 0,84 см; уменьшится в 3,1 раза. 8.35. Уменьшится 1,7 раза. 8.36. Уменьшится в 1,7 раза. 8.37. Уменьшится в 2 раза. 8.38. 30 км/ч; 131 км/ч. 8.39. 13,2 м; 1,3 м. 8.40. 1,85 см; 1,62 см. 8.41. Уменьшится в 1,35 раза; не изменится. 8.42. 0,212 $см^2 \cdot с$. 8.43. 0,0053 $см^2 \cdot с$. 8.44. 0,011 $см^2 \cdot с$. 8.45. 0,00124 $см^2 \cdot с$. 8.46. 5,95 $см^2/с$. 8.47. 179 $см^2/с^3$. 8.48. 1,25 $м/с^2$. 8.49. 1,44 $м/с^2$. 8.50. 1,44 $м/с^2$.

К задачам раздела 9

9.1. 2,06 м. 9.2. 3,92 м. 9.3. 0,98 м. 9.4. Не преодолеет; преодолеет. 9.5. 31°29′; 14°36′. 9.6. 0,148 м. 9.7. 0,845. 9.8. 0,35; больше на 0,9%. 9.9. а) 0,335 м; 0,431 м; б) 0,415 м; 0,347 м. 9.10. 39 : 61. 9.11. Не преодолеет. 9.12. 13°2′. 9.13. 25°13′; 27°23′. 9.14. Сместить вперёд на 0,77 м. 9.15. 9°6′; 6°34′. 9.16. 108 кН. 9.17. 45 т. 9.18. 0,31 МПа; 0,36 МПа; на 14%. 9.19. 0,35 МПа; 0,42 МПа; 0,42 МПа. 9.20. Не может. 9.21. 14°13′; 21°34′; 24°52′; 31°48′. 9.22. 13°11′; 23°46′; 22°5′; 31°48′. 9.23. 19°39′; 24°14′. 9.24. а) 16 кН; б) 18,38 кН. 9.25. 8,2 кН; 13,7 кН; 14 кН. 9.26. 2,5 кН; 4,1 кН; 4,5 кН. 9.27. Возрастёт в 2 раза. 9.28. 1,26 м. 9.29. 1,87 кВт; 82 кВт. 9.30. 11. 9.31. Уменьшится в 61,5 раза; уменьшится в 75,7 раза. 9.32. 0,048 м; 0,051 МПа. 9.33. а) увеличится в 1,35 раза; увеличится в 1,27 раза; б) уменьшится в 1,2 раза; увеличится в 2,83 раза. 9.34. $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ м; в 3846 раз. 9.35. $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ м; 0,048 м; 0,28 м; 0,46 м. 9.36. 46 кПа; 4,73 кПа; $5{,}29 \cdot 10^{-6}$ м. 9.37. Увеличится на 5,2%; увеличится на 1,5%; увеличится на 10,8%. 9.38. 4039 Н. 9.39. Шины 3,2%; смятия грунта 10%; прилипания грунта 8,9%; сдвига грунта 26,1%; экскавационного погружения 51,8%. 9.40. Увеличится на 38,5%. 9.41. 0,49. 9.42. Возможно. 9.43. 4922 Н. 9.44. Увеличится на 3,4%; увеличится на 6,6%. 9.45. 0,203; движение возможно. 9.46. 11°30′. 9.47. 3,1 т. 9.48. 1,1 т. 9.49. В 2,26 раза; – 0,17. 9.50. Возрастёт на 7,9%.

К задачам раздела 10

10.1. 6358 кг. 10.2. 17380 кг. 10.3. 1549 кг. 10.4. 1171 кг; 1569 кг; в 2,5 раза; в 2,2 раза. 10.5. 48,9 кВт. 10.6. 74 кВт. 10.7. 86,1 кВт. 10.8. 188 кВт. 10.9. 1,21. 10.10. 110,7 кВт. 10.11. 631 кВт. 10.12. а) 762 кВт; б) 729 кВт. 10.13. 3,08. 10.14. 2,87. 10.15. а) 4,47; б) 5,26. 10.16. 2,54. 10.17. 5,12. 10.18. Невозможно. 10.19. 0,86. 10.20. 2,61; 1,59. 10.21. 5,36; 3,42; 2,22; 1,45. 10.22. 3,99; 2,31; 1,46. 10.23. 3,05; 2,04; 1,41. 10.24. 2,53; 1,82; 1,31. 10.25. 3,68; 2,24; 1,46; 0,67. 10.26. 9,83. 10.27. 6,62; а) 1,33; б) 0,8. 10.28. 1,8. 10.29. 2,1. 10.30. 2,31.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобили: теория эксплуатационных свойств: учеб. для студентов высш. проф. образования / А.М. Иванов, А.Н. Нарбут, А.С. Паршин [и др.]; под ред. А.М. Иванова. – М.: ИЦ «Академия», 2013. – 176 с.
2. **Баловнев, В.И**. Автомобили и тракторы: краткий справочник / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов. – М.: ИЦ «Академия», 2008. – 384 с.
3. **Барахтанов, Л.В.** Проходимость автомобиля: учеб. пособие / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец; НГТУ. – Н. Новгород, 1996. – 200 с.
4. **Бортницкий, Л.И.** Тягово-скоростные качества автомобилей: справочник / Л.И. Бортницкий, В.И. Задорожный. – Киев: ИО «Вища школа», 1978. – 176 с.
5. **Вахламов, В.К.** Автомобили: эксплуатационные свойства: учеб. для студентов вузов / В.К. Вахламов. – 5-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2013. – 240 с.
6. **Вахламов, В.К.** Упражнения по теории автомобиля / В.К. Вахламов, А.С. Литвинов, И.С. Шлиппе; МАДИ. – М., 1978. – 66 с.
7. **Гладов, Г.И.** Специальные транспортные средства. Теория: учеб. для вузов / Г.И. Гладов, А.М. Петренко; под ред. Г.И. Гладова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 215 с.
8. **Гришкевич, А.И.** Автомобили: теория: учеб. для вузов / А.И. Гришкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 208 с.
9. **Дворовенко, Г.П.** Задачник по теории трактора и автомобиля для институтов и факультетов механизации сельского хозяйства / Г.П. Дворовенко, К.Д. Черноволот. – М.: Сельхозгиз, 1961 – 112 с.
10. **Евдокимов, Б.П.** Задачник по теории автомобиля для автомобильно-дорожных. техникумов / Б.П. Евдокимов. – М.: Высш. шк. 1965. – 123 с.
11. **Зимелёв, Г.В.** Теория автомобиля: задачник / Г.В. Зимелёв, А.Ф. Мащенко, В.И. Медведков. – М.: Воениздат, 1952. – 159 с.
12. **Иларионов, В. А.** Эксплуатационные свойства автомобиля: теоретический анализ: учеб. для студентов специальности «Автомобильный транспорт» вузов / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
13. **Кравец, В.Н.** Законодательные и потребительские требования к автомобилям: учеб. пособие / В.Н. Кравец, Е.В. Горынин; НГТУ. – Н. Новгород, 2000. – 400 с.
14. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учеб. для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
15. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учеб. для вузов / В.Н. Кравец; НГТУ. – Н. Новгород, 2007. – 368 с.

16. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учебник / В.Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., перераб. – Н. Новгород, 2013. – 413 с.
17. **Кравец, В.Н.** Теория движения автомобиля: учебник / В.Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. – 697 с.
18. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовкин, Ю.М. Власко, М.Б. Ляликов [и др.]. – М.: АО «Трансконсалтинг», НИИАТ, 1994. – 779 с.
19. **Кузьмин, Н.А.** Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. – М.: Форум; НИЦ ИНФРА, 2013. – 256 с.
20. Курсовое и дипломное проектирование колёсных и гсеничных транспортных машин: учеб. пособие / Л.В. Барахтанов, А.Л. Безруков, В.В. Беляков [и др.]; НГТУ. – Н. Новгород, 2000. – 123 с.
21. **Ларин, В.В.** Теория движения полноприводных колёсных машин: учебник / В.В. Ларин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 392 с.
22. **Литвинов, А.С.** Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учеб. для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
23. **Мельников, А.А.** Сборник задач и упражнений по теории автомобиля / А.А. Мельников, В.Н. Кравец; ГПИ им. А.А. Жданова, заоч. фак., каф. «Автомобили». – Горький, 1967 – 80 с.
24. **Песков, В.И.** Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля: монография / В.И. Песков, В.И. Сердюк, А.Е. Сердюк; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2009. – 135 с.
25. **Песков, В.И.** Теория автомобиля: учеб. пособие / В.И. Песков; НГТУ. – Н. Новгород, 2006. – 176 с.
26. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / А.И. Гришкевич, Б.У Бусел, Г.Ф. Бутусов [и др.]; под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 268 с.
27. **Проскурин, А.И.** Практикум по эксплуатационным свойствам автомобилей: учеб. пособие для студентов учреждений высш. образования / А.И. Проскурин, А.А. Карташов, Р.Н. Москвин. – М.: ИЦ «Академия», 2014. – 240 с.
28. **Ротенберг, Р.В.** Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
29. Сборник задач и упражнений по теории автомобиля: метод. разработки для студентов специальностей 15.02 – «Автомобиле- и тракторостроение» и 15.05 – «Автомобил. хоз-во» всех форм обучения. Ч. 1 / сост. В.Н. Кравец; ГПИ. – Горький, 1989. – 37 с.

30. Сборник задач и упражнений по теории автомобиля: метод. разработки для студентов специальностей 15.02 – «Автомобиле- и тракторостроение» и 15.05 – «Автомобил. хоз-во» всех форм обучения. Ч. 2 / сост.: Л.В. Барахтанов, А.М. Грошев, В.Н. Кравец, А.А. Мельников; ГПИ. – Горький, 1989. – 40 с.
31. Сборник задач и упражнений по теории автомобиля: метод. разработки для студентов специальностей 15.02 – «Автомобиле- и тракторостроение» и 15.05 – «Автомобил. хоз-во» всех форм обучения. Ч. 3 / сост.: Л.В. Барахтанов, А.М. Грошев, В.Н. Кравец, А.А. Мельников; ГПИ. – Горький, 1989. – 47 с.
32. **Смирнов, Г.А.** Теория движения колёсных машин: учеб. для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
33. **Тарасик, В.П.** Теория движения автомобиля: учеб. для вузов / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 476 с.
34. Теория автомобиля и двигателя в примерах и задачах: учеб. пособие по дисциплинам «Теория автомобиля» и «Тепловые двигатели» / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин, Б.Я. Бендерский [и др.]; под общ. ред. В.А. Умняшкина. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 222 с.
35. Теория и конструкция автомобиля: учеб. для автотрансп. техникумов / В.А. Иларионов, М.М. Морин, Н.М. Сергеев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.
36. **Успенкий, И.Н.** Пособие по курсовому и дипломному проектированию (для студентов специальностей 0513, 0523, 1609). Определение тягово-скоростных качеств автомобилей с механической и гидромеханической трансмиссиями / И.Н. Успенский, В.Н. Кравец; ГПИ им. А.А. Жданова. – Горький, 1976. – 78 с.
37. **Уханов, А.П.** Теория автомобиля в упражнениях и задачах: учеб. пособие для вузов / А.П. Уханов, И.И. Артёмов, О.Ф. Пшеничный. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. – 278 с.
38. **Фалькевич, Б.С.** Теория автомобиля: учеб. для вузов / Б.С. Фалькевич. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1963. – 240 с.
39. Формулы и алгоритмы для решения задач по теории автомобиля: метод разработка для студентов специальностей 15.02 – «Автомобиле- и тракторостроение» и 15.05 – «Автомобил. хоз-во» всех форм обучения / сост.: Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, А.М. Грошев, В.Н. Кравец, А.А. Мельников. – Горький, 1990. – 57 с.
40. **Чудаков, Е.А.** Теория автомобиля: учеб. для вузов / Е.А. Чудаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1950. – 344 с.

Грошев Анатолий Михайлович
Кравец Владислав Николаевич
Лелиовский Константин Ярославич
Песков Вячеслав Иванович

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕОРИИ АВТОМОБИЛЯ

Редактор **Е.В. Комарова**
Компьютерный набор **В.И. Песков,Т.В. Решетова**
Компьютерная вёрстка **Н.Н. Чернова**

Подписано в печать 14.10.2016. Формат 60 × 84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,5. Тираж 100 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ.
Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.