

## Глава I

### ТЯГОВЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

#### I. Скоростная характеристика двигателя, мощность и момент на ведущих колесах

I.1. Карбюраторный двигатель развивает максимальную мощность  $N_{\text{емax}} = 114$  кВт при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N = 360$  1/с. Угловая скорость коленчатого вала на режиме максимального момента  $\omega_M$  составляет  $0,5 \omega_N$ . Определить величину максимального момента  $M_{\text{емax}}$  и мощность  $N_M$  двигателя на этом режиме.

I.2. Дизельный двигатель развивает максимальную мощность  $N_{\text{емax}} = 132$  кВт при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N = 240$  1/с. Угловая скорость коленчатого вала на режиме максимального момента  $\omega_M$  составляет  $0,56 \omega_N$ . Коэффициенты уравнения скоростной характеристики равны:  $a = 0,88$ ;  $b = 1,12$ ;  $c = 1$ . Определить величину максимального момента  $M_{\text{емax}}$  и мощность  $N_M$  двигателя на этом режиме.

I.3. Используя уравнение скоростной характеристики двигателя

$$N_e = N_{\text{емax}} \left[ a \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 + c \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right],$$

определить угловую скорость коленчатого вала, соответствующую максимальному крутящему моменту, и коэффициент приспособляемости двигателя при следующих значениях коэффициентов:

а)  $a = b = c = 1$ ;

б)  $a = 0,60$ ;  $b = 1,60$ ;  $c = 1,20$ .

Методические указания. Из уравнения мощности двигателя выразить уравнение крутящего момента. Продифференцировав это уравнение, определить угловую скорость, соответствующую его максимуму.

I.4. Карбюраторный двигатель развивает максимальную мощность  $N_{\text{емax}} = 51,5$  кВт при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N = 570$  1/с. Угловая скорость коленчатого вала на режиме максимального момента  $\omega_M$  составляет  $0,5 \omega_N$ . Определить величину максимального момента  $M_{\text{емax}}$  и мощность  $N_M$  двигателя на этом режиме.

I.5. Карбюраторный двигатель развивает максимальный крутящий момент  $M_{\text{емax}} = 290$  нм при угловой скорости вращения коленчатого вала  $\omega_N = 220$  1/с. Отношение угловых скоростей коленчатого вала

на режимах максимальной мощности и максимального момента  $\frac{\omega_N}{\omega_M}$  равно двум. Определить мощность двигателя при этих угловых скоростях коленчатого вала.

I.6. Дизельный двигатель развивает максимальный крутящий момент  $M_{\text{емax}} = 650$  нм при угловой скорости вращения коленчатого вала  $\omega_M = 150$  1/с. Отношение угловых скоростей коленчатого вала на режимах максимального момента и максимальной мощности равно  $0,68$ . Коэффициенты уравнения скоростной характеристики равны:  $a = 0,6$ ;  $b = 1,5$ ;  $c = 1,10$ . Определить максимальную мощность и мощность, соответствующую угловой скорости  $\omega_M$ .

I.7. Максимальный момент двигателя  $M_{\text{емax}} = 120$  нм при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N = 300$  1/с. Коэффициент приспособляемости двигателя  $K = 1,2$ , а отношение угловых скоростей коленчатого вала при максимальном моменте и максимальной мощности  $\frac{\omega_M}{\omega_N} = 0,55$ . Определить максимальную мощность и мощность, соответствующую угловой скорости  $\omega_M$ .

I.8. Максимальный момент двигателя  $M_{\text{емax}} = 40$  кгм при частоте вращения коленчатого вала  $n_M = 1900$  об/мин. Коэффициент приспособляемости двигателя  $K = 1,3$ , а отношение частот вращения при максимальном моменте и максимальной мощности  $\frac{n_M}{n_N} = 0,525$ . Определить максимальную мощность и мощность, соответствующую частоте вращения  $n_M$ .

I.9. Максимальный момент двигателя  $M_{\text{емax}} = 680$  нм, а коэффициент приспособляемости  $K = 1,1$ . Определить максимальную мощность двигателя при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_N = 210$  1/с.

I.10. Определить мощность на колесах автомобиля  $N_{\text{кш}}$  при его разгоне на II передаче с ускорением  $1,5$  м/с<sup>2</sup>. Мощность двигателя  $N_e = 47$  л.с., к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,9$ ; передаточное число главной передачи  $i_g = 4,1$ , передаточное число II передачи  $i_{\text{кш}} = 1,49$ . Скорость движения автомобиля  $V_a = 70$  км/ч. Момент инерции  $J_M = 1,97 \cdot 10^{-2}$  кгм<sup>2</sup>, радиус колеса  $r_k = 0,3$  м.

I.11. Двигатель развивает мощность  $N_e = 80$  кВт. Определить мощность, подводимую к ведущим колесам при движении со скоростью  $V_a = 40$  км/ч с ускорением  $a_a = 0,6$  м/с<sup>2</sup> на II передаче. Передаточное число II передачи  $i_{\text{кш}} = 1,8$ , передаточное число главной передачи  $i_g = 7,7$ , момент инерции маховика  $J_M = 3,2$  нм<sup>2</sup>, к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ , радиус колеса  $r_k = 0,5$  м.

I.12. К ведущим колесам автомобиля подводится мощность

$N_{\text{кв}} = 30$  квт. Автомобиль движется на IV передаче при скорости  $V_a = 50$  км/ч с ускорением  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Момент инерции маховика  $J_M = 0,45$  кгм<sup>2</sup>. Передаточные числа трансмиссии:  $i_r = 4,2$ ,  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 0,90$ , радиус колеса  $r_k = 0,3$  м. Определить мощность, снимаемую с коленчатого вала двигателя.

I.13. К ведущим колесам автомобиля подводится мощность  $N_{\text{кв}} = 70$  квт. Автомобиль движется на III передаче со скоростью  $V_a = 30$  км/ч и ускорением  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Момент инерции маховика  $J_M = 3,3$  кгм<sup>2</sup>, передаточное число главной передачи  $i_r = 7,2$ , передаточное число III передачи коробки передач  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 0,85$ , радиус колеса  $r_k = 0,5$  м. Определить мощность, снимаемую с коленчатого вала двигателя.

I.14. На автомобиле, движущемся с ускорением  $a = 0,4$  м/с<sup>2</sup> при скорости  $V_a = 40$  км/ч к ведущим колесам подводится мощность  $N_{\text{кв}} = 60$  квт. Мощность, снимаемая с вала двигателя, равна  $N_e = 75$  квт. Определить к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}}$ , если  $J_M = 2,7$  кгм<sup>2</sup>, радиус колеса  $r_k = 0,49$  м, а передаточное число трансмиссии  $i_r = 9$ .

I.15. С коленчатого вала двигателя снимается крутящий момент  $M_e = 300$  нм. При этом ускорение автомобиля на I передаче составляет  $a = 0,7$  м/с<sup>2</sup>, а на прямой передаче  $a = 0,3$  м/с<sup>2</sup>. Передаточные числа: главной передачи  $i_r = 6,8$ ; первой передачи в коробке передач  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 6,5$ . Радиус колеса  $r_k = 0,46$  м. К.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,88$ . Момент инерции  $J_M = 1,39$  кгм<sup>2</sup>. Определить крутящий момент, подводимый к ведущим колесам на первой и высшей передачах.

## 2. Скорость движения автомобиля и силы сопротивления движению

I.16. Определить скорости движения автомобиля на прямой и первой передачах, если угловая скорость коленчатого вала  $\omega_e = 200$  1/с; передаточное число главной передачи  $i_r = 6,8$ ; передаточное число в коробке передач  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 6,5$ ; радиус колеса  $r_k = 0,46$  м.

I.17. Определить скорости движения автомобиля на прямой передаче при угловых скоростях коленчатого вала  $\omega_e = 300$  1/с и 500 1/с. Передаточное число главной передачи  $i_r = 4,5$ ; размер шин 160-380; коэффициент деформации шины  $\lambda = 0,88$ .

I.18. Определить число оборотов, которое сделает коленчатый

вал двигателя за пробег автомобиля  $S = 1$  км при работе автомобиля на высшей и второй передачах в коробке передач. Данные по автомобилю:  $r_k = 0,3$  м;  $i_r = 4,5$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 1$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 1,95$ .

I.19. Определить число оборотов, которое сделает коленчатый вал двигателя за пробег автомобиля  $S = 1$  км при работе автомобиля на высшей и первой передачах. Данные по автомобилю:  $r_k = 0,45$  м;  $i_r = 6,8$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 1,0$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 6,2$ .

I.20. При угловой скорости коленчатого вала двигателя  $\omega_e = 500$  1/с автомобиль движется со скоростью  $V_a = 35$  м/с. Передаточное число трансмиссии  $i_r = 4,2$ . Определить радиус качения ведущих колес.

I.21. Определить число оборотов коленчатого вала двигателя на единицу пробега автомобиля ( $S = 1$  км), если продолжительность движения на различных передачах в коробке передач выражается следующими величинами: I передача - 5%; II передача - 15%; III передача - 35%; IV передача - 45%. Передаточные числа в трансмиссии автомобиля: главной передачи  $i_r = 4,2$ ; коробки передач  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 3,4$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 2,25$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 1,45$ ;  $i_{\text{к.п.д. трансмиссии}} = 1,0$ . Радиус колеса  $r_k = 0,3$  м.

I.22. Определить силу и мощность суммарного дорожного сопротивления для автомобиля весом  $G_a = 1000$  кг на дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,02$  при движении на подъеме с уклоном  $i = 0,05$ , скорость автомобиля 60 км/ч.

I.23. Определить силу и мощность суммарного дорожного сопротивления для автомобиля с массой 10000 кг, движущегося под уклоном по дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,025$  и уклоном  $i = 0,01$ . Скорость движения автомобиля  $V_a = 15$  м/с.

I.24. Определить силу и мощность воздушного сопротивления, преодолеваемого автомобилем с коэффициентом обтекаемости  $K_z = 0,3$  во<sup>2</sup>/м<sup>4</sup> и лобовой площадью  $F = 2,2$  м<sup>2</sup> при скорости движения  $V_a = 25$  м/с.

I.25. Определить силу и мощность воздушного сопротивления, преодолеваемого автомобилем с коэффициентом обтекаемости  $K_z = 0,6$  во<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>, лобовой площадью  $F = 4,2$  м<sup>2</sup> при движении со скоростью  $V_a = 20$  м/с против ветра, дующего со скоростью  $V_b = 5$  м/с.

## 3. Силовой баланс автомобиля и динамическая характеристика

I.26. Автомобиль скатывается под уклон  $i = 0,05$  с постоянной



ной скоростью  $V_a = 25$  м/с. Масса автомобиля  $M_a = 1800$  кг, коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ . Определить фактор обтекаемости автомобиля.

1.27. Автомобиль массой  $M_a = 10000$  кг с коэффициентом обтекаемости  $K_e = 0,4$  нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup> и лобовой площадью  $F = 4,5$  м<sup>2</sup> спускается под уклон  $i = 0,04$  с постоянной скоростью  $V_a = 20$  м/с при наличии ветра. Коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ . Определить скорость и направление ветра.

1.28. Автомобиль, имеющий фактор обтекаемости  $K_e F = 2,5$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, движется накатом под уклон  $i = 0,045$  с постоянной скоростью. Коэффициент сопротивления качению равен  $f = 0,025$ . Определить скорость автомобиля, если его масса равна  $M_a = 7400$  кг.

1.29. Автомобиль движется под уклон накатом с постоянной скоростью  $V_a = 30$  км/ч. Дует встречный ветер со скоростью  $V_v = 15$  м/с. Определить уклон дороги, если коэффициент сопротивления качению  $f = 0,018$ , масса автомобиля  $M_a = 5750$  кг, фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 2,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

1.30. Автомобиль с полной массой  $M_a = 5000$  кг везет прицеп с массой  $M_{np} = 4000$  кг по дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\Psi = 0,035$ . Определить полную силу дорожного сопротивления и силу тяги на крюке автомобиля. Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.31. Сила тяги на колесах автомобиля с массой  $M_a = 7000$  кг  $P_T = 2500$  н при скорости движения  $V_a = 10$  м/с. Коэффициент сопротивления качению  $f = 0,018$ , фактор обтекаемости  $K_e F = 2,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Определить крутизну преодолеваемого автомобилем подъема.

1.32. Автомобиль с массой  $M_a = 2000$  кг равномерно движется под уклон крутизной  $i = 0,008$  со скоростью  $V_a = 15$  м/с. Определить силу тяги на ведущих колесах  $P_T$ , если коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ , а фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

1.33. Определить крутизну подъемов, которые может преодолеть автомобиль с массой  $M_a = 10000$  кг двигаясь на I и II передачах, если момент, развиваемый на коленчатом валу двигателя  $M_e = 250$  нм. Передаточные числа трансмиссии:  $i_r = 6,3$ ;  $i_{kf} = 3,5$ ;  $i_{kf} = 2,3$ ; радиус колеса  $r_k = 0,5$  м. Сопротивлением воздуха пренебречь, к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,87$ . Коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ .

1.34. На дороге с коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,045$  автомобиль развивает ускорение  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Определить сопро-

тивление дороге, на которой при той же скорости движения и мощности двигателя автомобиль развивает ускорение  $a = 0,4$  м/с<sup>2</sup>. Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{ep} = 1,1$ .

1.35. Определить силу тяги на колесах автомобиля, движущегося с ускорением  $0,4$  м/с<sup>2</sup> при скорости  $V_a = 20$  м/с. Масса автомобиля  $M_a = 2000$  кг; коэффициент дорожного сопротивления  $\Psi = 0,03$ ; фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,7$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{ep} = 1,1$ .

1.36. Автомобиль с массой  $M_a = 6500$  кг, движущийся со скоростью  $V_a = 18$  м/с по дороге с коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,025$ , имеет силу тяги на ведущих колесах  $P_T = 3350$  н. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 2,1$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{ep} = 1,08$ . Определить величину ускорения автомобиля.

1.37. Автомобиль, двигавшийся со скоростью  $V_a = 25$  м/с по горизонтальной дороге с коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,025$ , начал двигаться по инерции. Определить величину замедлений автомобиля при скоростях движения  $V_a = 25$  м/с и  $5$  м/с. Масса автомобиля  $M_a = 9500$  кг; фактор обтекаемости  $K_e F = 2,4$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{ep} = 1,04$ .

1.38. При движении автомобиля со скоростью  $V_a = 60$  км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,025$ , двигатель развивает мощность  $N_e = 55$  л.с. Полный вес автомобиля  $G_a = 4500$  кг, фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,21$  кг·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,88$ ;  $\delta_{ep} = 1,1$ . Определить величину ускорения автомобиля.

1.39. Автомобиль с массой  $M_a = 1840$  кг движется равномерно со скоростью  $V_a = 120$  км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,022$ . Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,7$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,9$ . Определить мощность, развиваемую двигателем автомобиля.

1.40. При тяговой силе  $P_T = 5500$  н динамический фактор автомобиля с массой  $M_a = 5100$  кг равен  $\mathcal{D} = 0,1$ . Как должна измениться масса автомобиля, чтобы динамический фактор остался неизменным при увеличении фактора обтекаемости  $K_e F$  на 50%.

1.41. При движении автомобиля со скоростью  $V_a = 90$  км/ч двигатель развивает мощность  $N_e = 30$  квт. Масса автомобиля  $M_a = 3050$  кг; фактор обтекаемости  $K_e F = 1,8$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,88$ . Определить динамический фактор автомобиля.

1.42. При скорости движения автомобиля  $V_a = 20$  м/с крутящий момент, снимаемый с коленчатого вала двигателя,  $M_e = 340$  нм. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_x F = 2,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; масса автомобиля  $M_a = 9500$  кг, к.п.д. трансмиссии  $\eta_{tr} = 0,85$ ; радиус колеса  $r_k = 0,48$ ; передаточные числа трансмиссии:  $i_{r1} = 6,3$ ;  $i_{k_{всч}} = 1,0$ . Определить динамический фактор автомобиля.

1.43. Автомобиль движется равномерно со скоростью  $V_a = 50$  км/ч. При этом динамический фактор автомобиля  $D = 0,035$ ; масса автомобиля  $M_a = 4900$  кг; фактор обтекаемости  $K_x F = 2,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{tr} = 0,85$ . Определить мощность, развиваемую двигателем.

1.44. На дороге с коэффициентом сопротивления  $\psi = 0,018$  автомобиль развивает ускорение  $j_a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,08$ . Определить динамический фактор автомобиля на данном режиме.

1.45. Динамический фактор автомобиля массой  $M_a = 10200$  кг равен  $D = 0,05$ . При этом тяговая сила на ведущих колесах автомобиля  $P_T = 5800$  н. Каким будет динамический фактор при том же режиме работы двигателя, если передаточное число главной передачи увеличить на 10%.

1.46. Динамический фактор автомобиля массой  $M_a = 1840$  кг равен  $D = 0,04$  при силе тяги  $P_T = 820$  н. Определить чему будет равен динамический фактор автомобиля, если радиус колеса  $r_k$  увеличится на 10%.

1.47. Определить максимальный подъем, который автомобиль может преодолеть на II передаче на дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,02$ , если динамический фактор на II передаче при скорости  $V_a = 50$  км/ч равен  $D = 0,14$ . Передаточные числа в коробке передач:  $i_{k_{II}} = 1,3$ ;  $i_{k_{I}} = 1,9$ . Фактор обтекаемости автомобиля  $K_x F = 0,66$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; масса автомобиля  $M_a = 1330$  кг.

1.48. Определить величину коэффициента суммарного дорожного сопротивления и фактора обтекаемости автомобиля, если величина замедления  $j_z = 0,25$  м/с<sup>2</sup> при скорости  $V_a = 2$  м/с и  $j_z = 0,41$  м/с<sup>2</sup> при скорости  $V_a = 25$  м/с. Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,05$ , а масса автомобиля  $M_a = 9500$  кг.

1.49. Автомобиль с полной нагрузкой имеет динамический фактор  $D = 0,08$  и на дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,05$  развивает ускорение  $j_a = 0,25$  м/с<sup>2</sup>.

Определить величину ускорения автомобиля без нагрузки при работе двигателя на том же режиме, если  $\frac{G_a}{G_0} = 2,2$  (учесть изменение коэффициента учета вращающихся масс  $\delta_p$ ).

1.50. Определить величину максимального ускорения автомобиля при трогании с места на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi = 0,5$  и коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,04$ , если вес, приходящийся на ведущую ось, составляет 60% от полного веса, а коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,4$ .

1.51. Определить ускорение автомобиля при скорости  $V_a = 15$  м/с и полной подаче топлива, если сила тяги равна  $P_T = 7500$  н, коэффициент суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,04$ , масса автомобиля  $M_a = 5700$  кг, фактор обтекаемости автомобиля  $K_x F = 2,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> и коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,6$ .

1.52. На дороге с коэффициентом сопротивления  $\psi = 0,025$  автомобиль развивает ускорение  $j_a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Определить величину коэффициента сопротивления дороги, на которой при неизменной мощности двигателя ускорение  $j_a = 0,4$  м/с<sup>2</sup>. Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,1$ .

1.53. Определить время и путь разгона автомобиля от 30 до 50 км/ч на горизонтальной дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,02$ . Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,1$ . Зависимость динамического фактора от скорости движения задана таблицей:

$V_a$	30	40	50 км/ч
$D$	0,046	0,04	0,03

1.54. Зависимость пути разгона от скорости движения автомобиля приведена в таблице.

$V_a$	20	40	60 км/ч
$S_p$	0	16	45

Найти среднее ускорение автомобиля при разгоне в интервале скоростей от  $V_a = 40$  км/ч до  $V_a = 60$  км/ч.

1.55. Определить падение скорости и пройденный путь за время переключения передач при движении со скоростью  $V_a = 15$  и 25 км/ч. Время переключения  $t_n = 1$  с, коэффициент суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,025$ ; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_p = 1,05$  (сопротивлением воздуха пренебречь).

1.56. Определить время свободного качения автомобиля со скорости  $V_a = 20$  м/с до полной остановки. Масса автомобиля  $M_a = 1800$  кг; фактор обтекаемости  $K_x F = 0,65$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.



коэффициент сопротивления дороги  $\psi = 0,02$ ; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{вр} = 1,05$ . (Расчет производить по двум интервалам скоростей: от  $V_a = 20$  м/с до  $V_a = 12$  м/с и от  $V_a = 12$  м/с до 0; трением в трансмиссии пренебречь).

1.57. Автомобиль, динамическая характеристика которого приведена в таблице, двигался с максимальной скоростью по дороге с коэффициентом сопротивления  $\psi = 0,02$ , после чего начинает преодолевать подъем с  $i = 0,06$ . Определить время и путь, пройденный автомобилем пока скорость снизится от  $V_{max}$  до  $V_a = 90$  км/ч.  $\delta_{вр} = 1,1$ .

$V_a$	70	90	110 км/ч
$\alpha$	0,075	0,05	0,02

1.58. Определить наименьшее значение коэффициента сцепления  $\phi_x$ , необходимого для того, чтобы в начале разгона автомобиль с массой  $M_a = 1800$  кг на дороге с суммарным коэффициентом сопротивления дороги  $\psi = 0,03$  развил ускорение  $a = 1,2$  м/с<sup>2</sup>. Вес, приходящийся на ведущую ось, составляет 0,52% от полного веса автомобиля. Коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{вр} = 1,6$ .

1.59. Определить наименьшее значение коэффициента сцепления, необходимого для движения автомобиля на дороге с уклоном  $i = 0,1$  и коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,02$ , если на ведущую ось приходится 60% полного веса. Сопротивления воздуха пренебречь.

1.60. По условиям сцепления автомобиль с колесной формулой 4х2 на дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,04$  преодолевает максимальный подъем с углом  $15^\circ$ . Вертикальная реакция на ведущей оси составляет 70% от полного веса автомобиля. Определить максимальный угол подъема, который в тех же условиях сможет преодолеть автомобиль с колесной формулой 4х4.

#### 4. Перераспределение нагрузок по осям

1.61. У неподвижного автомобиля на горизонтальной дороге вес, приходящийся на переднюю ось,  $G_1 = 18000$  н, а на заднюю  $G_2 = 21000$  н. База автомобиля  $L = 4$  м; высота центра тяжести  $h_g = 0,7$  м. Определить нормальные реакции, действующие на колеса передней и задней осей, если автомобиль разгоняется с ускорением  $a = 1,5$  м/с<sup>2</sup> на горизонтальной дороге (сопротивлением воздуха пренебречь).

1.62. Двухосный автомобиль с массой  $M_a = 8000$  кг движется

на подъем с углом  $\alpha = 3^\circ$ . При скорости  $V_a = 50$  км/ч ускорение составляло  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>. Определить коэффициенты перераспределения нагрузки на переднюю и заднюю оси при следующих данных автомобиля: база  $L = 4,0$  м; координата центра тяжести  $a = 2,5$  м; радиус колеса  $r_k = 0,45$  м; фактор обтекаемости  $K_e F = 2,0$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; высота центра тяжести  $h_g = 1,1$  м; высота центра парусности  $h_e = 1,3$  м; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{вр} = 1,05$ ; коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ .

1.63. Автомобиль с массой  $M_a = 1800$  кг движется на подъем с углом  $5^\circ$ . При скорости  $V_a = 70$  км/ч ускорение  $a = 0,3$  м/с<sup>2</sup>. Определить нормальную реакцию на задней оси автомобиля при следующих данных: база автомобиля  $L = 2,7$  м; координаты центра тяжести  $a = b = 0,5L$ ; высота центра тяжести  $h_g = 0,6$  м; высота центра парусности  $h_e = 0,8$  м; фактор обтекаемости  $K_e F = 0,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ ; коэффициент учета вращающихся масс  $\delta_{вр} = 1,05$ ; радиус колеса  $r_k = 0,3$  м.

1.64. Определить наименьший коэффициент сцепления  $\phi_x$ , при котором автомобиль с колесной формулой 4х2 может преодолеть подъем с углом  $\alpha = 25^\circ$  при коэффициенте сопротивления качению  $f = 0,02$ . Данные по автомобилю: база  $L = 4$  м; координата центра тяжести  $a = 3$  м; высота центра тяжести  $h_g = 1$  м; радиус колеса  $r_k = 0,4$  м.

#### 5. Мощностной баланс

1.65. Автомобиль с массой  $M_a = 1370$  кг движется по дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,025$  со скоростью  $V_a = 120$  км/ч. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,9$ . Определить мощность, развиваемую двигателем.

1.66. Автомобиль с массой  $M_a = 9500$  кг движется по дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,035$  со скоростью  $V_a = 60$  км/ч. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 2,4$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,88$ . Определить мощность, развиваемую двигателем.

1.67. Автомобиль с массой  $M_a = 1840$  кг равномерно движется на подъем со скоростью  $V_a = 50$  км/ч по дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,02$ . При этом двигатель развивает мощность  $N_e = 50$  кВт. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 0,7$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,92$ . Определить крутящую пре-

долеваемого подъема.

1.68. Определить мощность, развиваемую двигателем при движении автомобиля по дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\Psi = 0,025$  со скоростью  $V_a = 20$  м/с и ускорением  $a = 0,45$  м/с<sup>2</sup>. Данные автомобиля: масса  $M_a = 2500$  кг; фактор обтекаемости  $K_x F = 0,8$  м<sup>2</sup>; коэффициент учета вращающейся массы  $\delta_{вр} = 1,1$ ; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,92$ .

1.69. Определить величину ускорения автомобиля с массой  $M_a = 1800$  кг на дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\Psi = 0,025$  при движении со скоростью  $V_a = 90$  км/ч, если двигатель развивает мощность  $N_e = 52$  кВт. Данные по автомобилю: фактор обтекаемости  $K_x F = 0,7$  м<sup>2</sup>; коэффициент учета вращающейся массы  $\delta_{вр} = 1,1$ ; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,9$ .

1.70. Автомобиль движется по дороге с суммарным коэффициентом сопротивления  $\Psi = 0,028$  со скоростью  $V_a = 28$  м/с и ускорением  $a = 0,35$  м/с<sup>2</sup>. Двигатель при этом развивает мощность  $N_e = 60$  кВт. Фактор обтекаемости автомобиля  $K_x F = 0,65$  м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,92$ ; коэффициент учета вращающейся массы  $\delta_{вр} = 1,08$ . Определить массу автомобиля.

## Глава II ТОРМОЗНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

### 1. Аварийное торможение

П.1. Автомобиль затормаживается при скорости движения 20 м/с так, что все колеса доводятся до скольжения. Дорога горизонтальная с коэффициентом сцепления  $\phi_x = 0,6$ . Время запаздывания тормозного привода равно 0,08 с, время нарастания замедления — 0,15 с. Определить тормозной путь.

П.2. Водитель заметил опасность на расстоянии 60 м при скорости движения автомобиля 20 м/с и затормозил автомобиль. За сколько метров до опасного места остановится автомобиль, если время реакции водителя принять равным 0,8 с, время запаздывания тормозного привода 0,1 с, время нарастания замедления 0,12 с. Коэффициент сцепления колес с дорогой  $\phi_x = 0,5$ . Колеса доведены до скольжения.

П.3. Тормозной путь автомобиля равен 82 м. Определить установившееся замедление, если время запаздывания тормозного привода равно 0,12 с, время нарастания замедления 0,16 с, а начальная скорость торможения 22 м/с.

П.4. За время движения с установившимся замедлением автомобиль прошел путь, равный 35 м. Найти время движения с установившимся замедлением, если скорость в начале этого времени равна 18 м/с.

П.5. При торможении под уклон автомобиль прошел до полной остановки путь на 2,45 м больший, чем тормозной путь на горизонтальной дороге с таким же коэффициентом сцепления. Определить уклон дороги, считая, что время запаздывания тормозного привода и время нарастания замедления при торможении под уклон остаются такими же, что и при торможении на горизонтальной дороге и в обоих случаях колеса доводятся до скольжения. Коэффициент сцепления  $\phi_x = 0,6$ , начальная скорость одинаковая, в обоих случаях равна 20 м/с.

П.6. При торможении под уклон  $i = 0,04$  автомобиль прошел до полной остановки путь на 1,5 м больший, чем тормозной путь на горизонтальной дороге с тем же коэффициентом сцепления. Определить коэффициент сцепления колес с дорогой, считая, что время запаздывания тормозного привода и время нарастания за-



медления при торможении под уклон остаются теми же, что и при торможении на горизонтальной дороге и колеса доводятся до скольжения. Начальная скорость торможения в обоих случаях равна 65 км/ч.

П.7. Автомобиль с увеличенными зазорами между колодками и барабанами тормозов имеет при торможении колес до полного скольжения тормозной путь на 0,75 м больший, чем тот же автомобиль с нормально отрегулированными тормозами при торможении на той же дороге. Определить время запаздывания тормозного привода в обоих случаях, считая, что увеличение зазоров привело к увеличению времени запаздывания в 1,5 раза, а начальная скорость торможения 15 м/с. Время нарастания замедления в обоих случаях считать одинаковым.

П.8. При торможении до полной остановки на горизонтальной дороге автомобиль прошел путь на 2 м больший, чем при торможении на той же дороге до скорости 5 м/с. Считая, что в обоих случаях время запаздывания тормозного привода и время нарастания замедления остаются неизменными и колеса доводятся до скольжения, определить коэффициент сцепления  $\varphi_k$ .

П.9. Тормозной путь автомобиля на горизонтальной дороге с коэффициентом сцепления  $\varphi_k = 0,6$  равен 40 м. Определить начальную скорость движения, если время запаздывания тормозного привода равно 0,1 с, время нарастания замедления 0,2 с. При торможении колеса доведены до полного скольжения.

## 2. Служебное торможение

П.10. На колесах автомобиля, имеющего массу 1400 кг, создается тормозная сила равная 0,1 от веса автомобиля. Определить замедление автомобиля при скорости 25 м/с, если фактор обтекаемости  $K_x F = 0,5 \text{ нс}^2/\text{м}^2$ ; радиус качения колеса  $r_k = r_d = 0,3 \text{ м}$ , сумма моментов инерции колес  $\sum J_k = 5 \text{ кгм}^2$ . Автомобиль движется по дороге с суммарным дорожным сопротивлением  $\psi = 0,03$ . Торможение производится с отключенным двигателем.

П.11. Торможение дизельного автомобиля, имеющего массу 15000, производится двигателем. Тормозной момент двигателя определяется зависимостью  $M_{Tg} = 52,5 + 8,8 \text{ Нс} \cdot 10^{-2} \text{ нм}$ . Передаточное число главной передачи  $i_g = 7,73$ . В коробке передач включена IV передача с передаточным числом  $i_k = 1$ . Радиус на-

чения колеса  $r_k = r_d = 0,55 \text{ м}$ . Суммарный момент инерции колес  $\sum J_k = 180 \text{ кгм}^2$ , момент инерции маховика  $J_M = 4,4 \text{ нмс}^2$ , к.п.д. трансмиссии  $\eta_{Tr} = 0,85$ , фактор обтекаемости  $K_x F = 3,6 \text{ нс}^2/\text{м}^2$ . Движение автомобиля происходит по дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\psi = 0,03$ . Построить график зависимости замедления  $j_3$  от скорости в пределах изменения скорости от 60 до 30 км/ч.

П.12. Пользуясь данными предыдущей задачи, определить путь, который пройдет автомобиль за время снижения скорости от 60 до 30 км/ч.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для решения этой задачи интервалы скорости, в которых считается  $j_3 = j_{cr} = \text{const}$ , брать равными  $\Delta V_k = 10 \text{ км/ч}$ .

П.13. Пользуясь данными задачи II определить величину тормозного момента, необходимого для получения при торможении со скоростью 60 км/ч замедления  $j_3 = 1,5 \text{ м/с}^2$  при трех способах торможения: а) с отключенным двигателем; б) с неотключенным двигателем; в) с использованием моторного тормоза — замедлителя. В последнем случае тормозной момент двигателя определяется зависимостью  $M_{Tg} = 90 + 240 \text{ Нс} \cdot 10^{-2} \text{ нм}$ .

П.14. Пользуясь данными задачи II определить величину тормозного момента, необходимого для получения при скорости 40 км/ч замедления, равного  $1,5 \text{ м/с}^2$  при следующих способах торможения: а) с отключенным двигателем; б) с неотключенным двигателем при включении в коробке передач V передачи ( $i_{kv} = 0,66$ ); в) с неотключенным двигателем на IV передаче ( $i_{kv} = 1$ ); г) с неотключенным двигателем на III передаче ( $i_{kv} = 1,52$ ).

П.15. Пользуясь данными задачи II построить график значений замедлений  $j_3 = f(V_k)$ , ниже которых при торможении с отключенным двигателем для получения одинаковых замедлений нужны тормозные моменты больше, чем при совместном торможении тормозными механизмами и двигателем. Изменение скоростей движения в пределах 60–30 км/ч. График строить при трех значениях передаточных чисел в коробке передач  $i_{kv} = 0,66$ ;  $i_{kv} = 1$ ;  $i_{kv} = 1,52$ .

П.16. Автомобиль, имеющий массу 15000 кг, движется под уклон 6%. Включена третья передача ( $i_{kv} = 1,52$ ) и производится торможение двигателем. Определить установившуюся скорость дви-

жения и число оборотов коленчатого вала двигателя, если тормозной момент двигателя определяется зависимостью  $M_{Tg} = 52,5 + 8,8 \cdot 10^{-2} \cdot n$  нм, передаточное число главной передачи  $i_r = 7,73$ ;  $K_g F = 3,6 \text{ нс}^2/\text{м}^2$ , к.п.д. трансмиссии  $\eta_r = 0,85$ ,  $\zeta_k = \zeta_d = 0,55 \text{ м}$ .

П.17. Решить задачу 16, пренебрегая сопротивлением воздуха.

П.18. Построить тормозную характеристику на II, III и IV передачах автопоезда с общей массой 26 т, если торможение производится моторным тормозом, имеющим тормозной момент, определяемый зависимостью  $M_{Tg} = 52,5 + 25 \cdot 10^{-2} \cdot n$ . Передаточное число главной передачи  $i_r = 7,73$ . Передаточные числа коробки передач:  $i_{k1} = 1$ ;  $i_{k2} = 1,52$ ;  $i_{k3} = 2,9$ . Радиус колеса  $\zeta_k = 0,55 \text{ м}$ , фактор обтекаемости  $K_g F = 3,6 \text{ нс}^2/\text{м}^2$ .

П.19. Пользуясь тормозной характеристикой задачи 18 (рис.1) определить установившуюся скорость движения автопоезда при торможении моторным тормозом на спуске  $\ell = 6\%$  при включении II, III и IV передач.

П.20. Пользуясь тормозной характеристикой задачи 18 (рис.1) определить, какую дополнительную к моторному тормозу тормозную силу нужно создать тормозными механизмами для того, чтобы при движении под уклон  $6\%$  установившаяся скорость не превышала  $30 \text{ км/ч}$ .

Методические указания. На графике тормозной характеристики вниз по оси ординат следует отложить шкалу масштабов удельной тормозной силы  $\frac{\sum F_{Tg}}{G_a}$ , создаваемой тормозными механизмами. Масштаб этой шкалы такой же, как и по верхней части оси ординат. От точки кривой  $D_r = f(V_a)$ , соответствующей  $V_a = 30 \text{ км/ч}$ , на заданной передаче вниз откладывается отрезок  $\ell = 0,06$  в масштабе ординат. Ордината нижнего конца этого отрезка равна искомому значению.

П.21. Автопоезд, данные которого приведены в задаче 18, на уклоне  $4\%$  тормозится моторным тормозом. Включена II передача с передаточным числом  $i_{k2} = 2,9$ . Пользуясь тормозной характеристикой, построенной в результате решения задачи 18, определить замедление при скорости  $V_a = 15 \text{ км/ч}$ . Момент инерции маховика  $J_m$  и колес  $\sum J_k$  взять по задаче II.

П.22. Автомобиль, имеющий массу  $7000 \text{ кг}$ , движется накатом по горизонтальной дороге ( $f = 0,015$ ). Фактор обтекаемости автомобиля  $K_g F = 3,3 \text{ нс}^2/\text{м}$ . Суммарный момент инерции колес  $\sum J_k = 165 \text{ нмс}^2$ . Построить график замедлений и определить путь

наката со скорости  $70$  до скорости  $30 \text{ км/ч}$ . Сила  $P_{TgT}$  сопротивления трансмиссии проворачиванию, приведенная к ведущим колесам, определяется зависимостью  $P_{TgT} = (80 + 6 V_a) \text{ н}$ , где  $V_a$  в  $\text{км/ч}$ .

Методическое указание. Для определения пути наката взять интервалы скоростей  $\Delta V_a = 10 \text{ км/ч}$ .

### 3. Оптимальное распределение тормозных сил

П.23. На переднюю ось двухосного автомобиля приходится  $48\%$  его полной массы. База  $L = 2,4 \text{ м}$ ; высота центра тяжести  $h_g = 0,55 \text{ м}$ . В каком отношении должны распределиться тормозные моменты по колесам осей, чтобы на дороге с  $\psi_x = 0,6$  все они одновременно достигли предела по скольжению.

П.24. На переднюю ось трехосного автомобиля с балансишной подвеской средней и задней осей приходится  $25\%$  его полной массы. Расстояние между передней осью автомобиля и осью балансира  $\ell = 5,0 \text{ м}$ , высота расположения центра тяжести  $h_g = 1,3 \text{ м}$ . Найти в каком отношении должны распределяться тормозные моменты, действующие на колеса каждой из осей автомобиля, чтобы на дороге с коэффициентом сцепления  $\psi_x = 0,5$  все колеса одновременно достигали предела по скольжению.

Методическое указание. Считать, что нормальные реакции, действующие на среднюю и заднюю оси, объединенные балансирной подвеской, всегда одинаковы.

П.25. Масса, приходящаяся на заднюю ось двухосного автомобиля, равна  $740 \text{ кг}$ , а полная масса  $1350 \text{ кг}$ . Определить коэффициент сцепления, при котором в процессе торможения все колеса одновременно доводятся до пределов скольжения, если длина базы  $L = 2,4 \text{ м}$ , высота расположения центра тяжести  $h_g = 0,6 \text{ м}$  и  $65\%$  суммарной тормозной силы создается передними колесами.

П.26. При торможении автобуса, у которого масса, приходящаяся на переднюю ось, равна  $1230 \text{ кг}$ , а на заднюю  $1315 \text{ кг}$ , на дороге, имеющей коэффициент сцепления  $\psi_x = 0,55$ , все колеса одновременно достигают предела сцепления. Длина базы автобуса  $L = 2,7 \text{ м}$ ; высота расположения центра тяжести  $h_g = 0,8 \text{ м}$ . Найти коэффициент распределения тормозных сил.

П.27. Найти коэффициент распределения тормозных сил, если отношение тормозных моментов на колесах передней оси к тормозным моментам на колесах задней оси равно  $1,8$ .

П.28. Определить высоту расположения центра тяжести авто-



мобиля, у которого при торможении на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,6$ , все колеса одновременно доводятся до предела скольжения. База автомобиля  $L = 2,7$  м; расстояние от задней оси до центра тяжести равно  $1,45$  м, коэффициент распределения тормозных сил  $\beta_T = 0,65$ .

П.29. У автомобиля, имеющего базу  $L = 3,7$  м, полная масса распределяется по осям следующим образом: на переднюю ось  $1810$  кг, на заднюю —  $5590$  кг. Коэффициент распределения тормозных сил  $\beta_T = 0,37$ . Определить тормозной путь на дороге, на которой при торможении все колеса одновременно доводятся до пределов скольжения, если торможение начинается при начальной скорости  $V_0 = 16$  м/с, время запаздывания тормозного привода  $T_c = 0,2$  с, время нарастания замедления  $T_n = 0,2$  с.

П.30. У автомобиля, имеющего полную массу  $10500$  кг, на переднюю ось приходится  $2500$  кг. База равна  $L = 3,8$  м; высота расположения центра тяжести  $1,35$  м. Распределение тормозных моментов между тормозами передних и задних колес подобрано так, что одновременное достижение всеми колесами пределов скольжения при торможении происходит на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,3$ . Определить, какие колеса первыми доводятся до пределов скольжения на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,6$  и какое замедление будет иметь автомобиль, если после достижения предела скольжения этих колес усилие на тормозной педали осталось неизменным.

П.31. У автомобиля масса, приходящаяся на переднюю ось, равна  $465$  кг, а на заднюю ось  $615$  кг. База автомобиля  $L = 2,16$  м; высота расположения центра тяжести  $h_g = 0,56$  м. Распределение тормозных моментов между тормозами передних и задних колес подобрано так, что одновременное достижение всеми колесами предела скольжения при торможении происходит на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,8$ . Определить, какие колеса первыми доводятся до пределов скольжения на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,6$  и какое замедление будет иметь автомобиль, если после достижения предела скольжения этих колес усилие на тормозной педали оставить неизменным.

П.32. Автомобиль имеет следующие данные: масса, приходящаяся на переднюю ось в груженом состоянии,  $2575$  кг, а у негруженого автомобиля  $2120$ ; полная масса груженого автомобиля  $9525$  кг, негруженого  $4300$  кг. База  $L = 3,8$  м; высота расположения центра тяжести у груженого автомобиля  $h_g = 1,35$  м, у негруженого —

$0,8$  м. Распределение тормозных моментов подобрано так, что одновременное доведение до предела скольжения всех колес достигается у груженого автомобиля на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,6$ . Определить замедление негруженого автомобиля при торможении его на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_k = 0,6$ , если усилие на педали таково, что передняя ось доведена до пределов скольжения.

П.33. Автомобиль с полной массой, равной  $16000$  кг, и массой, приходящейся на заднюю ось,  $10000$  кг, тормозится так, что его передние колеса достигают предела по скольжению. При этом тормозной путь составляет  $40$  м. База автомобиля  $L = 4$  м; высота центра тяжести  $h_g = 1,2$  м, коэффициент распределения тормозных сил  $\beta_T = 0,4$ . Как изменится тормозной путь этого автомобиля, если при перевозке груза, имеющего малый удельный вес, высота расположения центра тяжести увеличится до  $1,8$  м, а все остальные параметры автомобиля и дорога останутся прежними. Считать, что за время запаздывания тормозного привода и нарастания замедления в обоих случаях автомобиль проходит  $3$  м.

П.34. Автомобиль, имеющий распределение массы между осями  $M_{a1} = 615$  кг,  $M_{a2} = 740$  кг и базу  $L = 2,4$  м, снабжен двухконтурной тормозной системой. Найти тормозной путь автомобиля при торможении со скорости  $V_0 = 20$  м/с на дороге с  $\phi_k = 0,8$  в случае отказа контура передних тормозов. Высота центра тяжести автомобиля  $h_g = 0,55$  м, время запаздывания тормозного привода  $T_c = 0,2$  с, время нарастания замедления  $T_n = 0,3$  с. Коэффициент сопротивления качению  $f = 0,02$ .

П.35. У автомобиля, имеющего те же данные, что и в предыдущей задаче, отказал контур задних колес. Найти для условий, указанных в задаче 34, тормозной путь.

П.36. Грузовой автомобиль с полной нагрузкой имеет полную массу  $9525$  кг. Масса, приходящаяся на переднюю ось, равна  $2575$  кг. База  $L = 3,8$  м. Высота расположения центра тяжести автомобиля  $h_g = 1,3$  м. Автомобиль имеет двухконтурную систему тормозов. Определить при выходе какого из контуров тормозной путь на дороге с  $\phi_k = 0,8$  будет больше и на сколько, если торможение производится со скорости  $V_0 = 15$  м/с.

П.37. Решить предыдущую задачу для негруженого автомобиля, имеющего следующее распределение массы между осями: масса,

приходящаяся на переднюю ось, равна 2120 кг. Масса, приходящаяся на заднюю ось, равна 2180 кг. Высота расположения центра тяжести  $h_g = 0,9$  м.

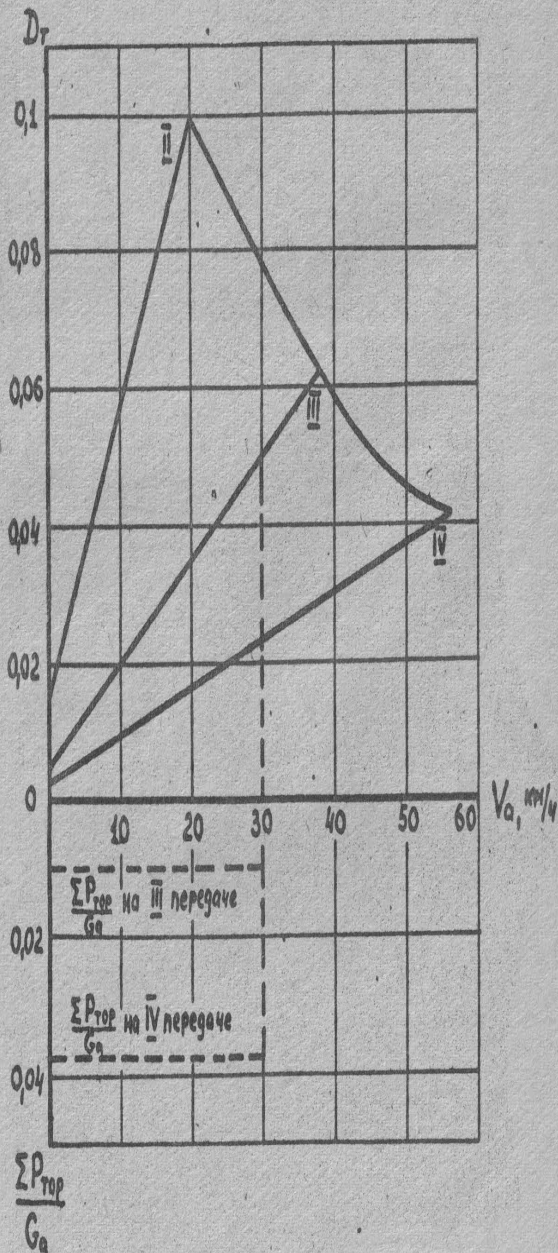


Рис. I

## Глава III

### ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

#### I. Уравнение расхода топлива

III.1. Определить путевой расход топлива для легкового автомобиля, который движется равномерно со скоростью  $V_a = 24$  м/с по горизонтальной дороге с асфальто-бетонным покрытием, если  $M_a = 1340$  кг,  $K_0 F = 0,25$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $F = 2,1$  м<sup>2</sup>,  $g_e = 420$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л,  $\psi = 0,02$  и  $\eta_{TP} = 0,92$ .

III.2. Грузовой самосвал, у которого  $M_a = 13925$  кг,  $K_0 F = 3,4$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $g_e = 260$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,78$  кг/л и  $\eta_{TP} = 0,84$ , движется равномерно со скоростью  $V_a = 11$  м/с по дороге с сопротивлением  $\psi = 0,02$ . Определить путевой расход топлива.

III.3. Определить величину путевого расхода топлива для автобуса при следующих условиях:  $\psi = 0,03$ ,  $V_a = 55$  км/ч,  $M_a = 8060$  кг,  $W_0 = 0,29$  кгс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $g_e = 220$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л и  $\eta_{TP} = 0,85$ .

III.4. Легковой автомобиль, имеющий  $M_a = 1820$  кг,  $\eta_{TP} = 0,92$ ,  $K_0 F = 0,79$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л и  $g_e = 400$  г/квт.ч, движется равномерно со скоростью  $V_a = 16$  м/с на подъеме с  $\alpha = 5^\circ$  и  $f = 0,015$ . Определить значение путевого расхода топлива.

III.5. Определить путевой расход топлива для грузового автомобиля, который движется равномерно на подъеме, если известно, что  $\alpha = 4^\circ$ ,  $f = 0,012$ ,  $V_a = 8$  м/с,  $M_a = 7400$  кг,  $W_0 = 2,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $\eta_{TP} = 0,84$ ,  $g_e = 360$  г/квт.ч и  $\gamma_T = 0,75$  кг/л.

III.6. Автобус, у которого  $V_a = 12,5$  м/с,  $M_a = 10840$  кг,  $K_0 F = 3,2$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $g_e = 370$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л,  $\delta_{\phi} = 1,1$  и  $\eta_{TP} = 0,88$ , совершает разгон с ускорением  $a_a = 0,5$  м/с<sup>2</sup> на дороге с сопротивлением  $\psi = 0,02$ . Определить путевой расход топлива.

III.7. Определить значение путевого расхода топлива для легкового автомобиля при следующих условиях:  $\psi = 0,03$ ,  $V_a = 25$  м/с,  $a_a = 0,8$  м/с<sup>2</sup>,  $M_a = 1330$  кг,  $W_0 = 0,69$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $g_e = 350$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л,  $\delta_{\phi} = 1,1$  и  $\eta_{TP} = 0,92$ .

III.8. Определить величину путевого расхода топлива для грузового автомобиля, соответствующую скорости движения  $V_a = 40$  км/ч в процессе разгона, если известно, что  $a_a = 0,4$  м/с<sup>2</sup>,  $\psi = 0,03$ ,  $M_a = 9530$  кг,  $K_0 F = 0,28$  кгс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $g_e = 260$  г/квт.ч,  $\gamma_T = 0,75$  кг/л,  $\delta_{\phi} = 1,1$  и  $\eta_{TP} = 0,84$ .



## ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ

## 1. Определение внешней характеристики двигателя

IV.1. Определить максимальную мощность карбюраторного двигателя легкового автомобиля с полной массой  $M_a = 1330$  кг, который должен развивать максимальную скорость  $V_{a\max} = 140$  км/ч. По аналогии с существующими автомобилями для расчета могут быть приняты следующие расчетные параметры: коэффициент обтекаемости  $K_e = 0,30$  нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>; лобовая площадь  $F = 1,75$  м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,92$ ; коэффициент сопротивления качению  $f_v = 0,028$ ; отношение угловых частот коленчатого вала при максимальной скорости и максимальной мощности  $\frac{\omega_v}{\omega_N} = 1,05$ .

IV.2. Определить максимальную мощность карбюраторного двигателя для грузового автомобиля с полной массой  $M_a = 7550$  кг, который должен развивать скорость  $V_{a\max} = 80$  км/ч на дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\psi_v = 0,032$ . Лобовая площадь автомобиля  $F = 5,8$  м<sup>2</sup>; коэффициент обтекаемости  $K_e = 0,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,88$ ; угловая скорость коленчатого вала при срабатывании ограничителя  $\omega_v = 0,9\omega_N$ .

IV.3. Определить максимальную мощность дизельного двигателя для грузового автомобиля с полной массой  $M_a = 14300$  кг, который должен развивать максимальную скорость  $V_{a\max} = 90$  км/ч на дороге с коэффициентом суммарного дорожного сопротивления  $\psi_v = 0,030$ . Фактор обтекаемости автомобиля  $K_e F = 3,0$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,85$ .

IV.4. Определить максимальную мощность двигателя для вновь проектируемого легкового автомобиля, если известно, что его масса  $M_a = 1110$  кг,  $K_e F = 0,56$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $V_{a\max} = 120$  км/ч;  $f_v = 0,025$ ,  $\eta_{тр} = 0,92$  и  $\frac{\omega_v}{\omega_N} = 1,1$ .

IV.5. Определить максимальную мощность карбюраторного двигателя для проектируемого грузового автомобиля при следующих условиях:  $M_a = 9530$  кг,  $K_e F = 2,8$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $V_{a\max} = 90$  км/ч;  $\psi_v = 0,032$ ;  $\eta_{тр} = 0,85$  и  $\frac{\omega_v}{\omega_N} = 0,9$ .

IV.6. Какой должна быть масса проектируемого легкового автомобиля, чтобы он мог развивать максимальную скорость  $V_{a\max} = 130$  км/ч на дороге с сопротивлением  $\psi_v = 0,02$ , если известно, что  $K_e F = 0,6$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $\eta_{тр} = 0,92$ ,  $N_{e\max} = 45$  кВт и  $\frac{\omega_v}{\omega_N} = 1,1$ .

## 2. Определение передаточных чисел трансмиссии

IV.7. Определить передаточное число главной передачи легкового автомобиля, развивающего максимальную скорость  $V_{a\max} = 150$  км/ч. Радиус колеса  $r_k = 0,3$  м. Угловая скорость коленчатого вала при максимальной мощности  $\omega_N = 560$  1/с; угловая скорость коленчатого вала при максимальной скорости  $\omega_v = 1,05\omega_N$ , высшее передаточное число коробки передач  $i_{k\max} = 1,0$ .

IV.8. Определить передаточное число главной передачи для автомобиля, развивающего максимальную скорость  $V_{a\max} = 80$  км/ч, если число оборотов коленчатого вала двигателя при срабатывании ограничителя составляет  $n_v = 3200$  об/мин. Радиус колес автомобиля  $r_k = 0,490$  м; высшая передача в коробке передач прямая.

IV.9. Определить передаточное число главной передачи автомобиля, если при угловой скорости коленчатого вала двигателя  $\omega_v = 260$  1/с при включении повышающей передачи в коробке передач  $i_{k\min} = 0,78$  скорость движения  $V_{a\max} = 75$  км/ч. Радиус колеса  $r_k = 0,510$  м.

IV.10. При каком значении передаточного числа главной передачи грузовой автомобиль будет развивать максимальную скорость  $V_{a\max} = 90$  км/ч, если  $\omega_v = 280$  1/с;  $i_{k\min} = 1,0$  и размер шин - 260-20.

IV.11. Определить передаточное число главной передачи легкового автомобиля, у которого  $V_{a\max} = 120$  км/ч,  $\omega_v = 460$  1/с, размер шин - 6.50 - 13, высшая передача коробки передач - повышающая ( $i_{k\min} = 0,964$ ).

IV.12. Определить, каким должно быть передаточное число высшей передачи в раздаточной коробке легкового автомобиля с колесной формулой 4x4, чтобы его максимальная скорость достигала величины  $V_{a\max} = 90$  км/ч при  $i_r = 5,125$ ,  $i_{k\min} = 1,0$ ;  $\omega_v = 400$  1/с и размере шин - 6.50-16.

IV.13. Определить передаточное число первой передачи коробки передач легкового автомобиля. Максимальное дорожное сопротивление, которое должен преодолевать автомобиль,  $\psi_{\max} = 0,35$ . Данные по автомобилю: размер шин 7.35-14; полная масса автомобиля  $M_a = 1800$  кг; максимальный крутящий момент двигателя  $M_{e\max} = 190$  нм; передаточное число главной передачи  $i_r = 4,1$ ; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{тр} = 0,92$ .

IV.14. Определить передаточное число первой передачи в ко-

робке передач, чтобы минимальная скорость автомобиля не превышала  $V_{\min} = 5$  км/ч при угловой скорости коленчатого вала  $\omega_{\min} = 80$  1/с. Радиус колеса автомобиля  $r_k = 0,29$  м; передаточное число главной передачи  $i_r = 4,3$ .

IV.15. Определить передаточные числа пятиступенчатой коробки передач для автомобиля с массой  $M_a = 9500$  кг, который должен преодолевать максимальное дорожное сопротивление  $\psi_{\text{дог}} = 0,32$  и иметь высшую передачу прямой. Максимальный момент двигателя  $M_{e_{\max}} = 400$  нм, к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ ; радиус колеса  $r_k = 0,49$  м; передаточное число главной передачи  $i_r = 6,2$ .

IV.16. Определить передаточные числа в четырехступенчатой коробке передач автомобиля, имеющего высшую передачу прямой, если первая передача подобрана из условий буксования ведущих колес при трогании с места. Данные по автомобилю: полная масса автомобиля  $M_a = 1400$  кг поровну распределяется между осями; коэффициент динамического перераспределения нагрузки для ведущей оси  $m_2 = 1,1$ . Коэффициент сцепления  $\phi_x = 0,7$ ; максимальный момент двигателя  $M_{e_{\max}} = 90$  нм; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,92$ ; радиус колеса  $r_k = 0,290$  м; передаточное число главной передачи  $i_r = 4,3$ .

IV.17. Определить из условия сцепления колес с дорогой передаточное число нижней передачи в раздаточной коробке полноприводного автомобиля с массой  $M_a = 5800$  кг, считая коэффициент сцепления  $\phi_x = 0,7$ . Максимальный крутящий момент двигателя  $M_{e_{\max}} = 290$  нм; к.п.д. трансмиссии  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ ; радиус колеса  $r_k = 0,49$  м; передаточное число главной передачи  $i_r = 6,83$ ; передаточное число первой передачи в коробке передач  $i_{k1} = 6,48$ .

IV.18. Каким должен быть радиус ведущих колес, чтобы автобус мог развивать максимальную скорость движения, равную  $V_{\max} = 80$  км/ч при главной передаче с передаточным числом  $i_r = 6,83$ ,  $i_{k_{\text{вс}}} = 1$  и  $n_v = 3200$  об/мин.

IV.19. Определить передаточное число первой передачи коробки передач грузового автомобиля при следующих условиях:  $M_a = 2450$  кг,  $\psi_{\text{дог}} = 0,35$ ,  $M_{e_{\max}} = 170$  нм;  $i_r = 5,125$ ,  $\eta_{\text{тр}} = 0,88$  и размер шин - 8.40-15.

IV.20. Найти передаточное число первой передачи для коробки передач легкового автомобиля с бензиновым двигателем, если из-

вестно, что  $M_a = 1820$  кг,  $\psi_{\text{дог}} = 0,38$ ,  $N_{e_{\max}} = 72,5$  кВт,  $\omega_N = 450$  1/с,  $r_k = 0,31$  м,  $\eta_{\text{тр}} = 0,92$ ,  $i_r = 4,1$  и  $\frac{\omega_N}{\omega_{\min}} = 0,5$ .

IV.21. При проектировании грузового автомобиля с карбюраторным двигателем были заданы следующие показатели:  $M_a = 9530$  кг,  $\psi_{\text{дог}} = 0,37$ ,  $N_{e_{\max}} = 110$  кВт,  $\omega_N = 310$  1/с,  $\omega_{\min} = 0,5\omega_N$ ,  $r_k = 0,47$  м,  $i_r = 6,32$  и  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ . Определить передаточное число первой передачи коробки передач.

IV.22. Найти передаточное число первой передачи коробки передач грузового автомобиля из условия отсутствия буксования ведущих колес при следующих данных:  $\phi_x = 0,6$ ,  $M_{a2} = 6950$  кг,  $m_2 = 1,2$ ,  $M_{e_{\max}} = 410$  нм,  $i_r = 6,32$ ,  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$  и размер шин - 260-20.

IV.23. Определить передаточное число первой передачи коробки передач легкового автомобиля с колесной формулой 4x4 из условия отсутствия буксования задних ведущих колес при следующих показателях:  $\phi_x = 0,7$ ;  $M_{a2} = 3060$  кг,  $m_2 = 1,2$ ,  $M_{e_{\max}} = 290$  нм,  $i_r = 5,125$ ,  $i_g = 1,15$ ,  $r_k = 0,36$  м и  $\eta_{\text{тр}} = 0,9$ .

IV.24. Передаточное число четырехступенчатой коробки передач на первой передаче равно  $i_{k1} = 3,5$ . Определить значения передаточных чисел коробки передач на промежуточных передачах, если высшая передача - прямая.

IV.25. Передаточное число четырехступенчатой коробки передач на второй передаче имеет величину равную  $i_{k2} = 2,3$ . Найти передаточные числа первой и третьей передач, если известно, что четвертая передача является прямой.

IV.26. Определить величины передаточных чисел для пятиступенчатой коробки передач, если передаточное число первой передачи равно  $i_{k1} = 6,17$ , высшая передача - ускоренная с передаточным числом  $i_{k_{\text{вс}}} = 0,78$ , а четвертая передача - прямая.

IV.27. Найти значения передаточных чисел пятиступенчатой коробки передач, если известно, что передаточное число третьей передачи  $i_{k3} = 2,2$ , а пятая передача - прямая.

IV.28. Определить передаточное число раздаточной коробки на нижней передаче из условия отсутствия буксования ведущих колес грузового автомобиля с колесной формулой 4x4 при следующих данных:  $\phi_x = 0,6$ ;  $M_a = 5770$  кг,  $M_{e_{\max}} = 290$  нм,  $i_r = 6,83$ ,  $i_{k1} = 6,48$ ;  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$  и размер шин - 12.00-18.



## Глава V

### УПРАВЛЯЕМОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ

#### I. Поперечная устойчивость

У.1. Определить углы увода автомобиля, движущегося со скоростью 72 км/ч по окружности с радиусом 100 м. Масса автомобиля  $M_0 = 1000$  кг; база автомобиля  $L = 2,5$  м, расстояние от передней оси до центра тяжести  $A = 1,3$  м. Суммарные коэффициенты сопротивления уводу колес передней оси  $\sum K_{y1} = 25000$  н/рад; задней оси  $\sum K_{y2} = 30000$  н/кг.

У.2. Определить радиус поворота автомобиля, движущегося по окружности с такой скоростью, что поперечная составляющая ускорения центра тяжести равна  $0,4g$ ; управляемые колеса автомобиля повернуты на угол  $4^\circ$ . Масса автомобиля равна 1500 кг, база  $L = 2,7$  м, расстояние от передней оси до центра тяжести  $A = 1,4$  м; коэффициенты сопротивления уводу колес передней оси  $\sum K_{y1} = 30000$  н/рад, задней оси  $\sum K_{y2} = 22000$  н/рад.

У.3. Автомобиль движется по дуге окружности радиусом 100 м на дороге с коэффициентом сцепления  $\varphi_y = 0,5$ . Найти критическую скорость по боковому скольжению, считая продольные силы на колесах равными нулю.

У.4. Автомобиль движется по дуге окружности радиусом 70 м. Высота центра тяжести 0,56 м, колея 1,3 м. Найти критическую скорость автомобиля по опрокидыванию, пренебрегая смещением центра тяжести автомобиля, вызываемым креном поддрессоренных масс.

У.5. Автомобиль движется по дуге окружности радиусом 100 м на дороге с коэффициентом сцепления  $\varphi_y = 0,3$ . Найти критические скорости по боковому скольжению передней и задней осей, учитывая влияние продольных сил (касательных реакций на передних и задних колесах). Дорога горизонтальная, коэффициент сопротивления качению  $f = 0,03$ . Фактор обтекаемости  $K_x F = 0,5$  нс<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Масса автомобиля, равная 1000 кг, распределится поровну на переднюю и заднюю ось.

У.6. При движении по дуге окружности с радиусом 120 м по достижении автомобилем скорости 20 м/с произошло боковое скольжение его колес. Определить коэффициент сцепления колес с дорогой.

У.7. При движении по дуге окружности с радиусом 60 м у автомобиля с колеей  $B = 1,3$  м на скорости 25 м/с произошел отрыв от дороги внутренних по отношению к центру поворота колес. Найти высоту расположения центра тяжести автомобиля, пренебрегая смещением центра тяжести поддрессоренной массы, связанным с ее креном.

У.8. Как изменится (в %) критическая скорость автомобиля по опрокидыванию по сравнению с расчетной, если при перевозке груза с малым удельным весом высота центра тяжести автомобиля увеличится по сравнению с расчетной в 1,5 раза. Задачу решить, пренебрегая смещением центра тяжести от крена поддрессоренной массы.

У.9. У автомобиля, имеющего колею 1,6 м и высоту центра тяжести  $h_g = 0,9$  м, при симметричном расположении центра тяжести по ширине колеи при движении по дуге окружности критическая скорость по опрокидыванию равна 22 м/с. Как изменится критическая скорость по опрокидыванию при смещении центра тяжести от продольной оси на 0,2 м к центру поворота и на 0,2 м от центра поворота, если радиус окружности останется прежним. Задачу решить без учета смещения центра тяжести из-за крена поддрессоренной массы.

У.10. Автомобиль движется по виражу с поперечным уклоном 8% и радиусом 65 м. Определить критическую скорость, если коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi_y = 0,45$ .

У.11. Автомобиль движется по виражу с уклоном 6% и радиусом 52 м. Колея автомобиля  $B = 1,65$  м, высота расположения центра тяжести  $h_g = 1,1$  м. Определить критическую скорость по опрокидыванию.

У.12. На основных участках дорог II категории наименьший радиус закругления равен 600 м, а расчетная максимальная скорость движения 120 км/ч. Каковы запасы скорости по боковому скольжению на дорогах с коэффициентом сцепления  $\varphi_y = 0,4$ .

У.13. Пользуясь данными предыдущей задачи определить, при каком сцеплении  $\varphi_y$  колес с дорогой запас критической скорости по боковому скольжению будет исчерпан.

У.14. На трудных участках пересеченной местности дорог II категории, наименьший радиус закругления равен 400 м, а на трудных участках горной местности 125 м. Определить минимальные коэффициенты сцепления  $\varphi_y$ , при которых автомобили на этих закругле-

ниях могут двигаться с максимальной расчетной скоростью для дорог этой категории, равной 90 км/ч.

У.15. На трудных участках пересеченной местности дороги III категории имеет наименьший радиус поворота 250 м. Определить, какой запас скорости по опрокидыванию имеет автомобиль ЗИЛ-130, если его максимальная скорость 90 км/ч, колея  $B = 1,8$  м, высота расположения центра тяжести  $h_g = 1,34$  м. Изменением положения центра тяжести в результате крена поддрессоренных масс пренебречь.

У.16. На дорогах I категории наименьший радиус поворота на равнинных участках равен  $R_{min} = 1000$  м, а на трудных участках пересеченной местности  $R_{min} = 600$  м. Подобрать угол поперечного уклона выража закругления с минимальным радиусом на трудном участке пересеченной местности таким образом, чтобы критическая скорость по боковому скольжению на этих закруглениях была равна критической скорости на закруглениях с минимальным радиусом дорог равнинной местности при отсутствии у последних поперечного уклона. Коэффициент сцепления в обоих случаях считать одинаковым и равным  $\phi_y = 0,6$ .

У.17. Подобрать поперечный наклон выража так, чтобы на дороге с коэффициентом сцепления 0,7 критическая скорость по боковому скольжению по сравнению с горизонтальной дорогой повысилась на 10%.

У.18. Определить критический угол косогора на дороге с  $\phi_y = 0,5$ .

У.19. Определить критический угол косогора по опрокидыванию автомобиля, у которого колея равна 1,6 м, высота расположения центра тяжести равна 1,2 м.

У.20. При движении автомобиля по дуге окружности, имеющей радиус 120 м, производится его притормаживание таким образом, что замедление равно  $3 \text{ м/с}^2$ . Определить критические скорости по боковому скольжению передней и задней осей на дороге с коэффициентом сцепления  $\phi_y = 0,8$ , если коэффициент распределения тормозных сил  $\beta_T = 0,7$ , высота расположения центра тяжести  $h_g = 0,5$  м, база  $L = 2,5$  м; центр тяжести расположен посередине длины базы.

Методические указания. Составляющей поперечной силы инерции, пропорциональной замедлению, пренебречь. Считать  $\cos\theta = 1$ .

У.21. Как изменится результат предыдущей задачи, если

$$\beta_T = 0,5.$$

У.22. Как изменятся результаты задачи 20, если коэффициент сцепления колес с дорогой уменьшится до 0,4.

## 2. Силы, действующие на автомобиль при повороте

У.23. При движении автомобиля по дуге окружности радиусом 80 м производится его притормаживание так, что замедление равно  $0,4 g$ . Считая колеса жесткими (не учитывая увода), определить величину и знак ошибки в определении поперечной силы инерции, если учитывается только центробежная сила (не учитывается составляющая, пропорциональная замедлению). Скорость автомобиля равна 20 м/с; расстояние от центра тяжести до оси задних колес  $b = 1,35$  м.

У.24. Решить задачу 23 с учетом эластичности колес, считая что угол увода колес задней оси  $\delta_2 = 8^\circ$ .

Методические указания. Уравнение

$$P_y^{\text{ин}} = \frac{1}{L} [b(\theta - \delta_1) - a\delta_2] \times$$

для подсчета составляющей поперечной силы инерции, пропорциональной замедлению (ускорению), при решении поставленной задачи следует преобразовать следующим образом. Прибавим и отнимем в квадратной скобке  $b\delta_2$ . Тогда после преобразований, принимая во внимание, что  $\frac{\theta + \delta_2 - \delta_1}{L} = \frac{1}{R}$ ,  $a + b = L$ ,

$$\text{получим } P_y^{\text{ин}} = \frac{1}{L} \left( \frac{L}{R} - \delta_2 \right) = \frac{1}{L} \left( \delta_2 - \frac{b}{R} \right).$$

У.25. Водитель автомобиля, движущегося с постоянной скоростью 15 м/с, с колесами, повернутыми на  $4^\circ$ , внезапно начал поворот управляемых колес к нейтральному положению с угловой скоростью  $\dot{\theta} = 0,3$  рад/с. Масса автомобиля 1500 кг, база 2,6 м, расстояние от центра тяжести до задней оси 1,25 м. Определить, пренебрегая уводом, величину поперечной силы инерции при постоянном угле поворота управляемых колес и в момент начала поворота, когда изменением радиуса поворота автомобиля можно пренебречь. Найти изменение в % поперечной силы инерции после начала поворота управляемых колес по сравнению с силой, действующей на автомобиль при постоянном угле поворота управляемых колес.

х) См. А.С.Литвинов. Теория эксплуатационных свойств автомобилей, изд. МАДИ, 1975, с.122-123.



У.26. Решить задачу 25 с учетом увода, если перед началом поворота управляемых колес углы увода равны  $\delta_1 = 5^\circ 30'$ ;  $\delta_2 = 5^\circ$  и скорости изменения углов увода  $\dot{\delta}_1 = 0,1$  рад/с;  $\dot{\delta}_2 = 0,14$  рад/с. Через бесконечно малый промежуток времени после начала поворота углы увода остались прежними, а скорости изменения углов увода стали равными  $\dot{\delta}_1 = 0,2$  рад/с;  $\dot{\delta}_2 = 0,14$  рад/с.

У.27. При испытании на управляемость типа "Змейка" автомобиль проходит между вешками так, что его центр тяжести описывает синусоиду, имеющую уравнение

$$y = A \sin \omega_n x,$$

где  $A$  - амплитуда;  $\omega_n$  - путевая частота, равная отношению круговой частоты к скорости движения автомобиля. Ось  $X$  совпадает с прямой, соединяющей вешки. Определить поперечные силы инерции в точках наибольшего отклонения траектории от прямой, соединяющей вешки, если расстояние между вешками равно 25 м, скорость движения 10 м/с, наибольшее отклонение центра тяжести автомобиля от прямой соединяющей вешки  $A = 1,2$  м.

Решение. Для определения поперечной силы инерции в тех случаях, когда задана траектория центра тяжести автомобиля и скорость движения постоянна, можно воспользоваться известным из теоретической механики соотношением  $\dot{y}_n = \frac{V^2}{R_K}$ , где  $V$  - скорость движения центра тяжести;  $R_K$  - радиус кривизны траектории центра тяжести в заданной точке;  $\dot{y}_n$  - ускорение центра тяжести, направленное по радиусу кривизны. Поперечное ускорение автомобиля равно  $\dot{y}_y = \dot{y}_n \cos \frac{b-c}{R}$ , где  $b-c$  - расстояние от центра тяжести автомобиля до проекции мгновенного центра поворота автомобиля на его продольную ось, а  $R$  - мгновенный радиус поворота автомобиля. Если  $R$  достаточно велик, то  $\cos \frac{b-c}{R} \approx 1$ ,  $\dot{y}_y \approx \dot{y}_n$ .

Для определения радиусов кривизны синусоидальной траектории воспользуемся общей формулой для определения радиусов кривизны в тех случаях, когда функциональная зависимость задана уравнением типа  $y = f(x)$ . В этом случае  $R_K = \frac{[1+(y')^2]^{3/2}}{y''}$ , где  $y'$  и  $y''$  соответственно первая и вторая производные по  $x$ . Для синусоиды, заданной уравнением  $y = A \sin \omega_n x$ , производные равны

$$y' = A \omega_n \cos \omega_n x; y'' = -A \omega_n^2 \sin \omega_n x.$$

В точках наибольшего отклонения траектории от прямой, соединяющей вешки  $\omega_n x = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$ , следовательно, в этих точках

$\cos \omega_n x = 0$ , а синус при  $\frac{\pi}{2}$  равен единице, а при  $\frac{3\pi}{2}$  - минус единице. Поскольку нас интересует только величина поперечных сил инерции, то знаки в дальнейшем будем опускать. Исходя из сказанного, получим  $R_K = \frac{1}{A \omega_n^2}$ ;  $\dot{y}_y = A V_a^2 \omega_n^2$ .

Принимаем во внимание, что  $\omega_n = \frac{\omega}{V_a} = \frac{2\pi}{TV_a}$ , где  $T$  - полный период синусоиды, получим

$$\dot{y}_y = 4A \frac{\pi^2}{T^2}.$$

Период синусоиды в задаче 27 равен удвоенному расстоянию между вешками, деленному на скорость движения.

У.28. Автомобиль, обладавший массой 6000 кг, движется со скоростью 17 м/с так, что его центр тяжести описывает эллиптическую траекторию. Оси эллипса  $a = 200$  м;  $b = 100$  м. Определить поперечные силы инерции в вершинах эллипса.

Методические указания. Для удобства использования методики, описанной в решении задачи 27, уравнение эллипса лучше всего задавать в форме  $x = a \cos t$ ;  $y = b \sin t$ .

У.29. При испытаниях с целью определения легкости рулевого управления центр тяжести автомобиля описывает восьмерку, близкую к лемнискате Бернулли, уравнение которой в полярных координатах имеет вид  $r^2 = 2a^2 \cos 2\theta$ . Размеры восьмерки подберутся так, что коэффициент  $a = 17$  м. Скорость для легковых автомобилей  $V_a = 25$  км/ч. Определить коэффициент сцепления дороги, при котором в вершинах восьмерки (точки с полярными координатами  $\theta = 0$  и  $\theta = \pi$ ) движение возможно без бокового скольжения.

У.30. Автомобиль с массой 1,8 т движется с ускорением  $\dot{a} = 0,7$  м/с<sup>2</sup> по окружности радиусом 65 м. Расстояние от центра тяжести автомобиля до его задней оси  $b = 1,3$  м. Найти без учета увода продольную силу инерции в момент, когда скорость автомобиля равна 18 м/с.

У.31 Решить задачу 30 с учетом увода колес, если известно, что угол увода задней оси  $\delta_2 = 6^\circ$ .

Методические указания. Для решения задачи 31 формулу для определения продольной силы инерции

$$P_x = \frac{G_a}{g} \left\{ \dot{a} - \frac{V_a \omega_a}{L} [b(\theta - \delta_1) - a\delta_2] \right\} x$$

х) См.сноску к стр. 41

следует преобразовать таким образом. Добавим и отнимем в квадратной скобке  $\delta_2$ . После соответствующих преобразований принимая во внимание, что  $\omega_a = \frac{V_a}{R}$ , получим

$$P_x = \frac{G_a}{g} \left[ \delta_1 - \frac{V_a^2}{R} \left( \frac{b}{R} - \delta_2 \right) \right].$$

У.32. Автомобиль, обладающий массой 1400 кг, движется по окружности, имеющей радиус 120 м со скоростью 25 м/с. Дорога горизонтальная с коэффициентом сопротивления качению  $f = 0,015$ ; фактор обтекаемости  $K_x F = 0,5 \text{ нс}^2/\text{м}^2$ ; расстояния от центра тяжести до осей равны: до передней оси  $a = 1,3 \text{ м}$ , до задней  $b = 1,2 \text{ м}$ .

Определить необходимую для движения тяговую силу без учета увода и с учетом увода, считая углы увода передних колес  $\delta_1 = 7^\circ$ , задних колес  $\delta_2 = 6^\circ$ . Сравнить с тяговой силой, необходимой для прямолинейного движения автомобиля по той же дороге и при той же скорости.

Методические указания. Уравнение движения автомобиля при движении по горизонтальной дороге с передними колесами, повернутыми на постоянный угол  $\Theta$ , запишется так:

$$M_a \dot{J}_x = X_2 - X_1 - P_c - Y_1 \sin \Theta,$$

где  $X_1$  и  $X_2$  — касательные реакции, действующие соответственно на колеса передней и задней осей;  $P_c$  — сила сопротивления воздуха;  $Y_1$  — боковая сила, действующая на колеса передней управляемой оси. Подставляя вместо  $\dot{J}_x$  его значение для кругового движения с постоянной скоростью, принимая во внимание, что  $Y_1 = \frac{G_1 V_a^2}{gR}$  и, считая при больших значениях  $R$ , что  $\sin \Theta \approx \Theta$ , после соответствующих преобразований получим

$$P_T = P_k + P_c + M_a \frac{V_a^2}{R} \frac{b\delta_2 + a\delta_1}{L}.$$

Из формулы видно, что без учета увода тяговая сила при круговом движении с постоянной скоростью не отличается от тяговой силы, необходимой для обеспечения прямолинейного движения, а с учетом увода больше последней.

У.33. Водитель поворачивает рулевое колесо с постоянной угловой скоростью  $\dot{\alpha} = 5 \text{ рад/с}$ . База автомобиля  $L = 3,8 \text{ м}$ , расстояние от задней оси до центра тяжести автомобиля  $b = 1 \text{ м}$ , передаточное число рулевого управления  $i_w = 20$ . Скорость движения автомобиля  $V_a = 20 \text{ м/с}$ . Найти без учета увода удельные боковые

реакции, действующие на оси автомобиля в момент, когда угол поворота управляемых колес равен  $\Theta = 0,015$ .

Методическое указание. Считать  $\delta_2^2 = ab$ .

У.34. В процессе маневра смены полосы движения водитель поворачивает управляемые колеса в обратном направлении (к нейтральному положению) с угловой скоростью  $\Theta = 0,3 \text{ рад/с}$ . Масса автомобиля 1500 кг; база  $L = 2,5 \text{ м}$ ; расстояние от задней оси до центра тяжести 1,2 м. Скорость движения автомобиля 15 м/с. Найти распределение боковых сил между осями автомобиля с учетом и без учета увода в момент, когда  $\Theta = 0,03$ . Углы увода в этот момент равны  $\delta_1 = 0,07$ ;  $\delta_2 = 0,1$ . Скорости изменения углов увода  $\dot{\delta}_1 = 0,16$ ;  $\dot{\delta}_2 = 0,05$ .

### 3. Траекторная устойчивость

У.35. Автомобиль, база которого равна 3,8 м, движется со скоростью 18 м/с с управляемыми колесами, повернутыми на угол  $-1^\circ$ . Масса, приходящаяся на переднюю ось, равна 2575 кг на заднюю ось 6950 кг. Коэффициент сопротивления уводу обоих колес передней оси равен  $\sum K_{y1} = 3700 \text{ н/град}$ . Коэффициент сопротивления уводу обоих спаренных колес задней оси  $\sum K_{y2} = 8000 \text{ н/град}$ . Найти радиус поворота и расстояние от задней оси до центра поворота.

У.36. Автобус, обладающий массой 15500 кг, движется со скоростью 20 м/с по дуге окружности с радиусом 150 м. База автобуса 5,15 м; расстояние от центра тяжести до задней оси  $b = 1,9 \text{ м}$ . Коэффициент сопротивления уводу обоих передних колес  $\sum K_{y1} = 9600 \text{ н/град}$ ; коэффициент сопротивления уводу обоих колес задней оси равен  $\sum K_{y2} = 15700 \text{ н/град}$ . Определить, на какой угол повернуть управляемые колеса.

У.37. У автомобиля, обладающего полной массой 1330 кг, на переднюю ось приходится 600 кг. Определить критическую скорость по траекторной устойчивости, если коэффициент сопротивления уводу обоих колес передней оси равен  $\sum K_{y1} = 36000 \text{ н/рад}$ , а коэффициент сопротивления увода обоих колес задней оси  $\sum K_{y2} = 34000 \text{ н/рад}$ . База автомобиля  $L = 2,4 \text{ м}$ .

У.38. Испытаниями установлено, что при скорости 10 м/с автомобиль с управляемыми колесами, повернутыми на  $2^\circ$ , движется по дуге окружности, имеющей радиус 60 м, а при увеличении скорости движения до 15 м/с при неизменном угле поворота управляемых



колес радиус поворота уменьшается до 40 м. Определить критическую скорость автомобиля по тракторной устойчивости.

У.39. На автомобиль, обладающий массой 7400 кг и движущийся со скоростью 16 м/с, действует поперечная боковая сила, равная 10000 н. База автомобиля 3,7 м, расстояние от центра тяжести до оси задних колес  $b = 0,9$  м. Определить радиус дуги окружности, описываемой автомобилем, если его управляемые колеса находятся в нейтральном положении, а коэффициенты сопротивления уводу равны  $\Sigma K_{y1} = 1800$  н/град;  $\Sigma K_{y2} = 4800$  н/град.

#### 4. Колебания управляемых колес

У.40. Автомобиль движется со скоростью 25 м/с. Определить амплитудное значение момента, стремящегося повернуть колеса относительно шкворней, возникающего в результате неуравновешенности колес. Момент дисбаланса равен  $M_{q5} = 1000$  гсм, радиус качения колес  $r_k = 0,3$  м, длина поворотной цапфы  $l_y = 0,1$  м. Неуравновешенные массы правого и левого колес управляемой оси смещены по фазе на  $180^\circ$ .

У.41. У автомобиля с зависимой подвеской передней оси при движении со скоростью 22 м/с возникают автоколебания. Считая автоколебания синусоидальными, найти амплитудное значение гироскопического момента, действующего на переднюю ось в поперечной плоскости, если частота автоколебаний составляет 10 гц, их амплитуда  $\chi_k = 3^\circ$ , радиус качения колеса  $r_k = 0,3$  м, момент инерции каждого из управляемых колес относительно оси шкворня равен  $J_{kш} = 0,8$  нмс<sup>2</sup>.

У.42. Автомобиль, имеющий массу 1400 кг, движется со скоростью 20 м/с по дуге окружности, радиус которой равен 110 м. База автомобиля 2,4 м, расстояние от задней оси до центра тяжести равно 1,1 м. Найти суммарный стабилизирующий момент, возникающий в результате наклона шкворней в продольной плоскости на угол  $\beta_{ш} = 4^\circ$ . Динамический радиус колеса равен 0,28 м.

У.43. По данным предыдущей задачи определить усилие на рулевые колеса, необходимое для его удержания, если максимальное значение упругого стабилизирующего момента для каждого из управляемых колес  $M_{см, макс} = 80$  нм, достигается при углах увода  $\delta_{1, макс} = 6^\circ$ , а текущее значение упругого стабилизирующего момента шины при некотором текущем значении угла увода колеса  $\delta_1$  может

быть подсчитано по эмпирической формуле

$$M_{см} = \frac{M_{см, макс}}{\delta_{1, макс}} (2\delta_{1, макс} - \delta_1) \delta_1.$$

Коэффициент сопротивления уводу обоих колес передней оси равен  $\Sigma K_{y1} = 30000$  н/рад; передаточное число рулевого управления  $i_{ш} = 20$ , обратный к.п.д. рулевого управления  $\eta_{ру} = 0,7$ ; радиус рулевого колеса 190 мм.

Методические указания. Стабилизирующим моментом, возникающим в результате поперечного наклона шкворня, пренебрегать ввиду малости угла поворота управляемых колес.

У.44. Определить стабилизирующий момент, действующий при малой скорости движения автомобиля (когда можно пренебречь упругим стабилизирующим моментом шины) на оба управляемые колеса, если угол наклона шкворня в поперечной плоскости равен  $8^\circ$ , угол наклона шкворня в продольной плоскости равен нулю, колеса повернуты на угол  $\Theta = 30^\circ$ , масса, приходящаяся на управляемые колеса, равна 1000 кг; длина поворотной цапфы  $l_y = 0,12$  м.