

УДК 629.113

В.Н. Кравец

## НОРМАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ НА КОЛЁСА ДВУХОСНОГО АВТОМОБИЛЯ ПО СЦЕПЛЕНИЮ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена методика расчёта нормальных реакций, действующих на передние и задние колёса двухосного автомобиля-тягача, когда тяговая сила на его ведущих колёсах ограничивается сцеплением с опорной поверхностью.

*Ключевые слова:* двухосный автомобиль-тягач, ведущие колёса, ведомые колёса, нормальные реакции на колёса, сцепление колёс с опорной поверхностью, сопротивление качению колёс.

Методика расчёта нормальных динамических реакций, действующих на колёса двухосного и трёхосного автомобилей, а также на колёса автомобиля-тягача и прицепа, входящих в состав автопоезда, когда тяговая сила на ведущих колёсах названных автотранспортных средств ограничена их сцеплением с опорной поверхностью, впервые предложена Е.А. Чудаковым [1]. Несколько иную методику определения нормальных реакций на колёса двухосного автомобиля по условию сцепления ведущих колёс с дорогой изложил В.А. Иларионов в работе [2]. Расчётные формулы, предложенные названными авторами, получены при некоторых упрощающих допущениях. Точное решение данной задачи выполнено автором настоящей публикации в работах [3, 4].

Расчёт нормальных динамических реакций, действующих на колёса передней и задней осей двухосного автомобиля, произведён для трёх компоновочных схем: 1) задние колёса ведущие, передние – ведомые; 2) передние колёса ведущие, задние – ведомые; 3) все колёса ведущие.

### *Неполноприводный автомобиль 4 × 2 с задними ведущими колёсами*

*Схема сил и моментов*, действующих на автомобиль-тягач с задними ведущими и передними ведомыми колёсами, показана на рис. 1. В центре масс автомобиля – точке  $C$  приложены сила тяжести  $G_a$  и её составляющие  $G_n$  и  $F_i$ , а также сила сопротивления поступательному разгону  $F_{ax}$ . Положение центра масс задано координатами  $a$ ,  $b$  и  $h_g$ . В точке  $C_w$  – центре парусности, или метацентре действуют сила сопротивления воздуха  $F_B$ , подъёмная аэродинамическая сила  $F_{wz}$ . Силы  $F_B$  и  $F_{wz}$  создают относительно поперечной оси  $S_y$  опрокидывающий аэродинамический момент  $T_{wy}$ . Положение точки  $C_w$  задано координатами  $a_w$ ,  $b_w$  и  $h_w$  и расстоянием  $l_m$  до центра масс  $C$ . В точке  $C_c$  приложена сила в сцепном устройстве  $F_c$  и её составляющие  $F_{cx}$  и  $F_{cz}$ . Положение точки  $C_c$  задано расстояниями  $b_c$  и  $h_c$  до задней оси и опорной поверхности соответственно.  $\Sigma T_{f1}$ ,  $\Sigma T_{f2}$  – суммарные моменты сопротивления качению передних и задних колёс соответственно. Под действием внешних сил и моментов на передние и задние колёса автомобиля действуют суммарные продольные реакции  $\Sigma R_{x1}$ ,  $\Sigma R_{x2}$  и суммарные нормальные реакции  $\Sigma R_{z1}$  и  $\Sigma R_{z2}$  опорной поверхности.

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\Sigma R_{x1} = f \Sigma R_{z1} + \frac{\Sigma J_{k1} \varepsilon_k}{r_d} = f \Sigma R_{z1} + \frac{\Sigma J_{k1} a_a}{r_d r_k}; \quad (1)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = \varphi_x \sum R_{z2}, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению передних ведомых колёс;  $\sum J_{к1}$  – суммарный момент инерции передних колёс;  $\epsilon_k$  – угловое ускорение передних колёс;  $r_d$  – динамический радиус передних колёс;  $a_a$  – ускорение автомобиля;  $r_k$  – радиус качения передних колёс;  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления задних ведущих колёс с опорной поверхностью.

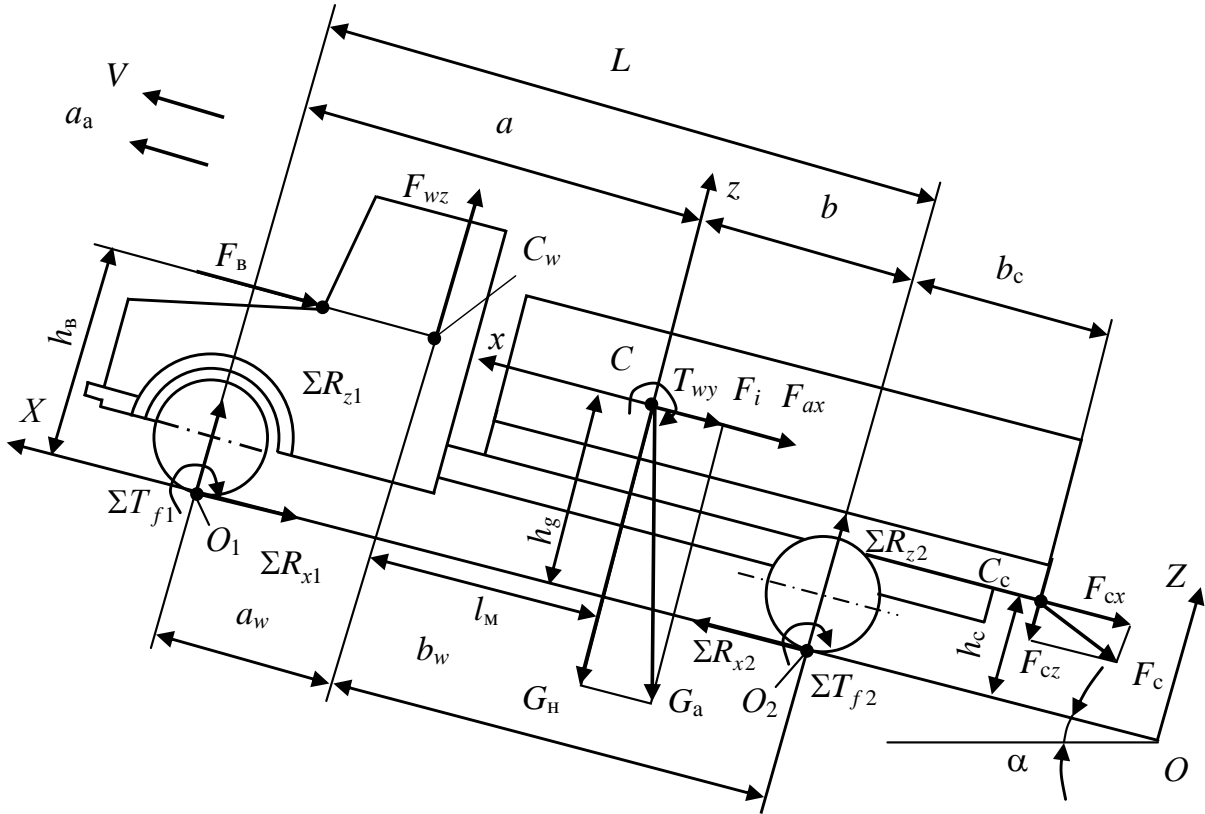


Рис. 1. Силы и моменты, действующие на автомобиль-тягач в общем случае движения

Составляют два уравнения с двумя неизвестными  $\sum R_{x1}$  и  $\sum R_{x2}$ :

- сумму проекций всех сил на ось Cz

$$\sum Z = 0; \sum R_{z1} + \sum R_{z2} + F_{wz} - G_H - F_{cz} = 0, \quad (3)$$

откуда

$$\sum R_{z2} = G_H - F_{wz} + F_{cz} - \sum R_{z1}; \quad (4)$$

- сумму моментов всех сил относительно центра масс (точки C)

$$\sum T_C = 0;$$

$$\sum R_{z1}a - \sum R_{x1}h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2}b + \sum R_{x2}h_g + \sum T_{f2} + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \quad (5)$$

После подстановки в уравнение (5) приведённых ранее выражений для  $\sum R_{x1}$ ,  $\sum R_{x2}$  и  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z1}a - f \sum R_{z1}h_g - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \\ + \sum R_{z1}b + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \varphi_x \sum R_{z1}h_g + \sum T_{f2} + \\ + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В уравнении (6):

$$\sum T_{f1} + \sum T_{f2} = a_{ш} (\sum R_{z1} + \sum R_{z2}) = f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d. \quad (7)$$

С учётом (7) уравнение (6) приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sum R_{z1}a + \sum R_{z1}b - f \sum R_{z1}h_g - \varphi_x \sum R_{z1}h_g - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \\ + f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d + \varphi_x(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Имея в виду, что  $\sum R_{z1}(a+b) = \sum R_{z1}L$ , получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} [L - (\varphi_x + f)h_g] = (G_H - F_{wz} + F_{cz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \\ + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + \\ + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c), \end{aligned} \quad (9)$$

откуда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - \\ - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c)}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (10)$$

После подстановки выражения  $\sum R_{z1}$  по формуле (10) в уравнение (4) получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz})[a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c)}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (11)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме.

При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - \\ - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy}}{L - (\varphi_x + f)h_g}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz})[a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M + T_{wy}}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (13)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k}}{L - (\varphi_x + f)h_g}; \quad (14)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H [a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{k1} a_a h_g}{r_d r_k}}{L - (\varphi_x + f) h_g}. \quad (15)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью. В данной случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $a_a = 0$ , так как  $V = \text{const}$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g - f r_d)}{L - (\varphi_x + f) h_g}; \quad (16)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H [a - f(h_g - r_d)]}{L - (\varphi_x + f) h_g}. \quad (17)$$

4. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ , так как  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g)}{L - \varphi_x h_g}; \quad (18)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H a}{L - \varphi_x h_g}. \quad (19)$$

5. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с постоянной малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a (b - \varphi_x h_g)}{L - \varphi_x h_g}; \quad (20)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a a}{L - \varphi_x h_g}. \quad (21)$$

**Неполноприводный автомобиль 4 × 2 с передними ведущими колёсами**

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\sum R_{x1} = \varphi_x \sum R_{z1}; \quad (22)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = f \sum R_{z2} + \frac{\sum J_{k2} a_a}{r_d r_k}, \quad (23)$$

где  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления передних ведущих колёс с опорной поверхностью;  $f$  – коэффициент сопротивления качению задних ведомых колёс;  $\sum J_{k2}$  – суммарный момент инерции задних колёс;  $r_d$  – динамический радиус задних колёс;  $r_k$  – радиус качения задних колёс.

Сумму проекций всех сил на ось  $Cz$  записывают в виде уравнений (3) и (4).

Сумма моментов всех сил относительно центра масс (точки  $C$ ):

$$\sum T_C = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \sum R_{x1} h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2} b - \sum R_{x2} h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Подставив в уравнение (24) приведённые ранее выражения для  $\sum R_{x1}$  и  $\sum R_{x2}$ , а также  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}a + \varphi_x \sum R_{z1}h_g + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \sum R_{z1}b - \\ & - f(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g + f \sum R_{z1}h_g - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \sum T_{f2} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

После замены в уравнении (25)  $\sum T_{f1} + \sum T_{f2}$  по формуле (7) и с учётом того, что  $a + b = L$ , получают:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}L + \varphi_x \sum R_{z1}h_g + f \sum R_{z1}h_g + f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d - \\ & - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b - f(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

После некоторых преобразований уравнение (26) приобретает вид:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} [L + (\varphi_x + f)h_g] = (G_H - F_{wz} + F_{cz}) [b + f(h_g - r_d)] + \\ & + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c), \end{aligned} \quad (27)$$

откуда

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz} + F_{cz}) [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - F_B(h_B - h_g) - \\ & - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c) \\ \sum R_{z1} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (28)$$

Подставив выражение (28) в формулу (2), получают:

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz} + F_{cz})(a + \varphi_x h_g + fr_d) - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + F_B(h_B - h_g) + \\ & + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) \\ \sum R_{z2} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (29)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz}) [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - \\ & - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} \\ \sum R_{z1} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}; \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz})(a + \varphi_x h_g + fr_d) - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} \\ \sum R_{z2} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (31)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{k2} a_a h_g}{r_d r_k}}{L + (\varphi_x + f) h_g}; \quad (32)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d) - \frac{\sum J_{k2} a_a h_g}{r_d r_k}}{L + (\varphi_x + f) h_g} \dots \quad (33)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью. В данном случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $a_a = 0$  при  $V = \text{const}$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H [b + f(h_g - r_d)]}{L + (\varphi_x + f) h_g}; \quad (34)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d)}{L + (\varphi_x + f) h_g}. \quad (35)$$

4. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ , так как  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H b}{L + \varphi_x h_g}; \quad (36)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g)}{L + \varphi_x h_g}. \quad (37)$$

5. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с постоянной малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a b}{L + \varphi_x h_g}; \quad (38)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a (a + \varphi_x h_g)}{L + \varphi_x h_g}. \quad (39)$$

#### Двухосный полноприводный автомобиль 4 × 4

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\sum R_{x1} = \varphi_x \sum R_{z1}; \quad (40)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = \varphi_x \sum R_{z2}. \quad (41)$$

Сумма проекций всех сил на ось  $Cz$  выражена уравнениями (3) и (4).

Сумма моментов всех сил относительно точки  $C$ :

$$\sum T_C = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \sum R_{x1} h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2} b + \sum R_{x2} h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (42)$$

После подстановки в уравнение (42) выражений для  $\sum R_{x1}$ ;  $\sum R_{x2}$  и  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают следующее уравнение:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \varphi_x \sum R_{z1} h_g + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz}) b + \sum R_{z1} b + \\ & + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz}) h_g - \varphi_x \sum R_{z1} h_g + \sum T_{f2} + F_B (h_B - h_g) + \\ & + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (43)$$

С учётом того, что  $a + b = L$  и  $\sum T_{f1} + \sum T_{f2} = f(G_H - F_{wz} + F_{cx}) r_d$  по формуле (7), уравнение (43) приобретает вид:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} L + f(G_H - F_{wz} + F_{cz}) r_d - (G_H - F_{wz} + F_{cz}) b + \\ & + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz}) h_g + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - \\ & - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (44)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} L = & (G_H - F_{wz} + F_{cz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - \\ & - F_{wz} l_M - T_{wy} + F_{cx} (h_g - h_c) - F_{cz} (b + b_c), \end{aligned} \quad (45)$$

откуда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = & \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - \\ & - F_{wz} l_M - T_{wy} + F_{cx} (h_g - h_c) - F_{cz} (b + b_c)}{L}. \end{aligned} \quad (46)$$

После подстановки выражения  $\sum R_{z1}$  по формуле (46) в уравнение (4) получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = & \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz}) (a + \varphi_x h_g + f r_d) + F_B (h_B - h_g) + \\ & + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c)}{L}. \end{aligned} \quad (47)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - F_{wz} l_M - T_{wy}}{L}; \quad (48)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz}) (a + \varphi_x h_g + f r_d) + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy}}{L}. \quad (49)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g - f r_d)}{L}; \quad (50)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d)}{L}. \quad (51)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $f \approx 0$  при  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g)}{L}; \quad (52)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g)}{L}. \quad (53)$$

4. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a (b - \varphi_x h_g)}{L}; \quad (54)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a (a + \varphi_x h_g)}{L}. \quad (55)$$

### Библиографический список

1. Чудаков, Е.А. Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 464 с.
2. Иларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля: теоретический анализ / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
3. Кравец, В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
4. Кравец, В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., переработ. – Н.Новгород, 2013. – 413 с.

Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013

V.N. Kravets

### NORMAL REACTIONS OF WHEELS OF TWO-AXLE VEHICLE IN ACCORDANCE WITH SUPPORT SURFACE ADHESION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Development of methodology for calculating normal reactions acting on the front and rear wheel-axles of the towing vehicle when the towing force of the drive wheels is limited by the strength of their adhesion with the supporting surface.

**Design / methodology / approach:** Theoretical studies / were carried out on the basis of fundamentals of the classical theoretical mechanics.

**Findings:** There are analytical expressions for the calculation of the normal dynamic reaction forces at the front and rear wheel-axles of towing vehicle with three different layout drawings for the general and special cases of traffic.

Scope of use: the study of indicators of operational properties of general transport vehicles and, above all, off-road and all-terrain vehicles.

**Research limitations / implications:** Not examined the spatial model. The two-dimensional model was analyzed.

**Originality / value:** During the developing the methodology for calculating the normal dynamic reaction forces at the front and rear wheels of the vehicle, it was taken into account not only the external forces applied to vehicles body, but also the longitudinal reactions in contact zones between the driving and driven wheels and supporting surface.

**Conclusion:** The analytical expression of the dynamic responses of normal reactions allows estimate their impact on the value of design parameters of the vehicle, as well as the characteristics of the support surface of the road.

*Key words:* to-axle vehicle-truck, drive wheels, running