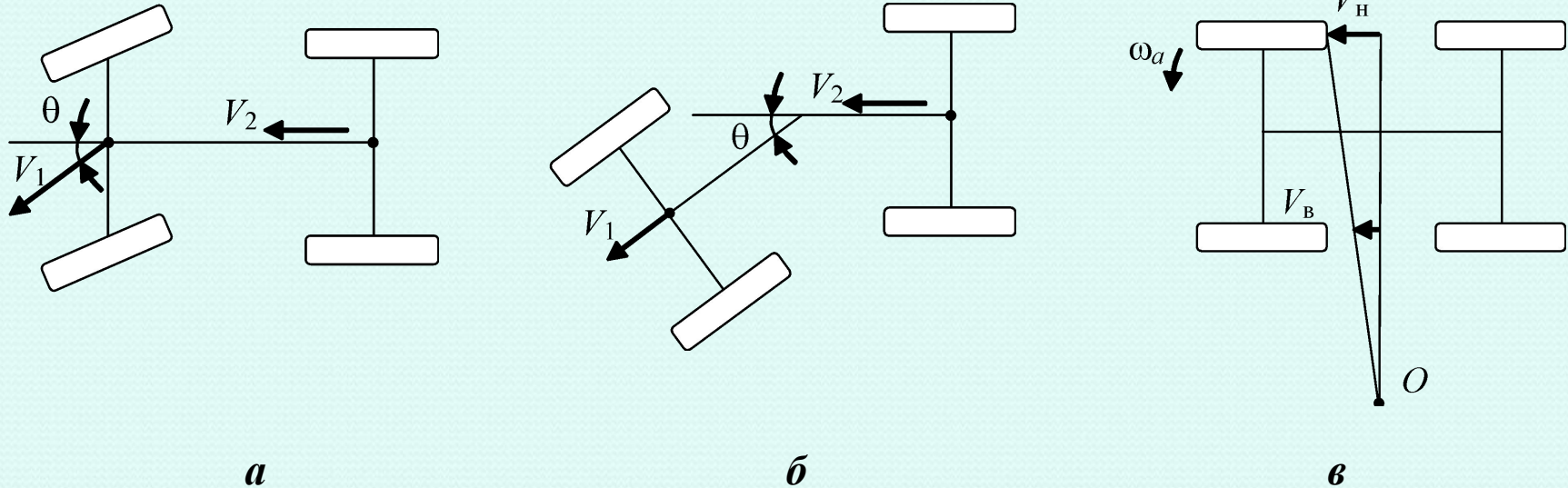


Управляемость автомобиля

Способы поворота колесных машин



Схемы поворота колесных машин:

a – поворот управляемых колес;

б – поворот звеньев машины относительно друг друга;

в – изменение скоростей колес левого и правого бортов

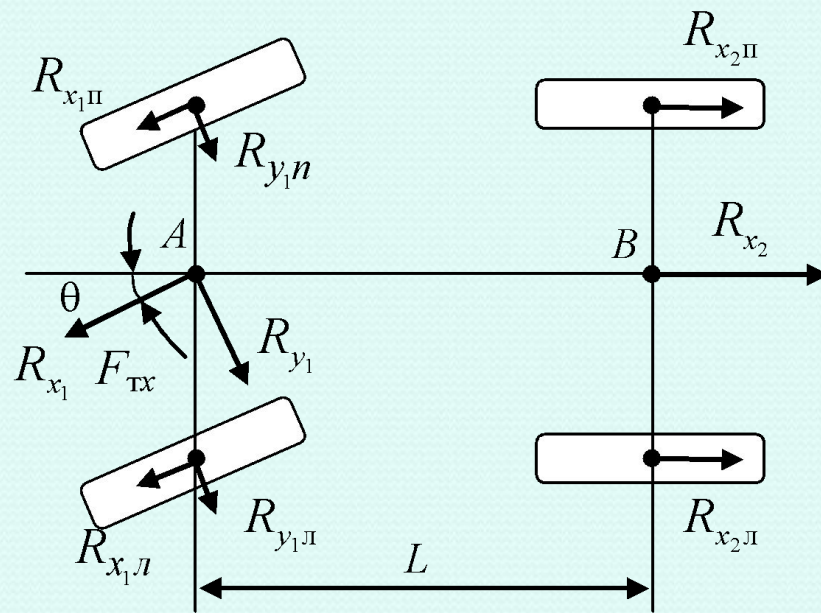
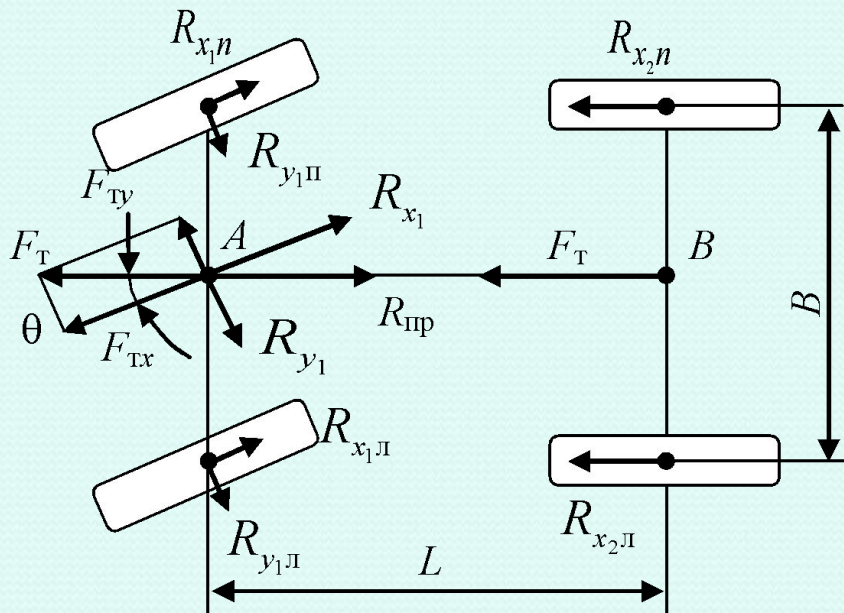
Управляемость автомобиля

Условия сохранения управляемости автомобиля

Схема поворота автомобиля с передними управляемыми колесами:

a – ведомыми

б – ведущими



Условие возможности поворота:

$$T_{\Pi} \geq T_{c_1} + T_{c_2} \quad T_{\Pi} = R_{y_1} L \cos \theta;$$

$$T_{\Pi} = R_{y_1} L \cos \theta + R_{x_1} L \sin \theta$$

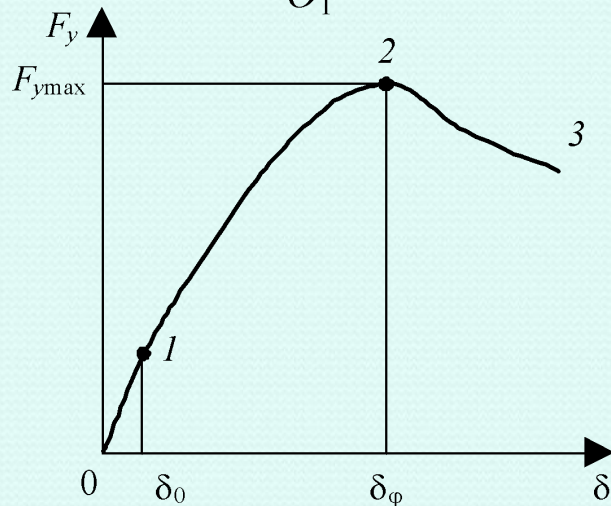
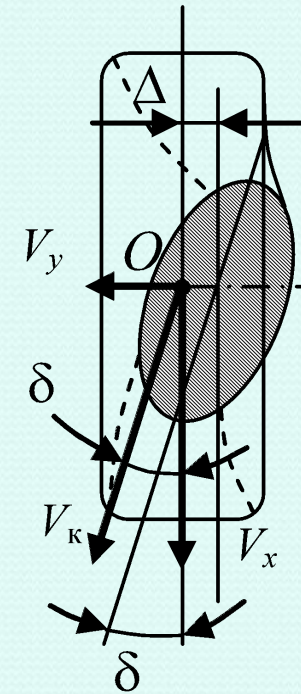
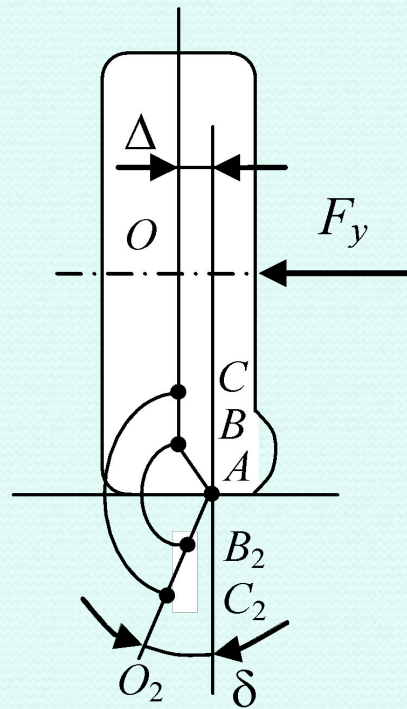
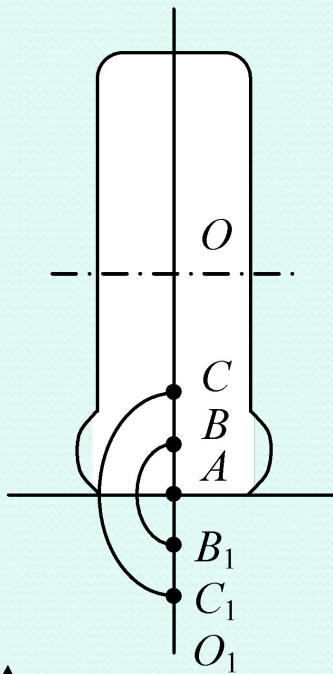
$$T_{c_1} = R_{x_1} L \sin \theta; \quad T_{c_2} = (R_{x_{2л}} - R_{x_{2п}}) B / 2$$

$$\text{пр} \quad T_{c_2} = 0 \quad \varphi_x \geq f / \cos \theta$$

и

Управляемость автомобиля

Боковой увод эластичного колеса



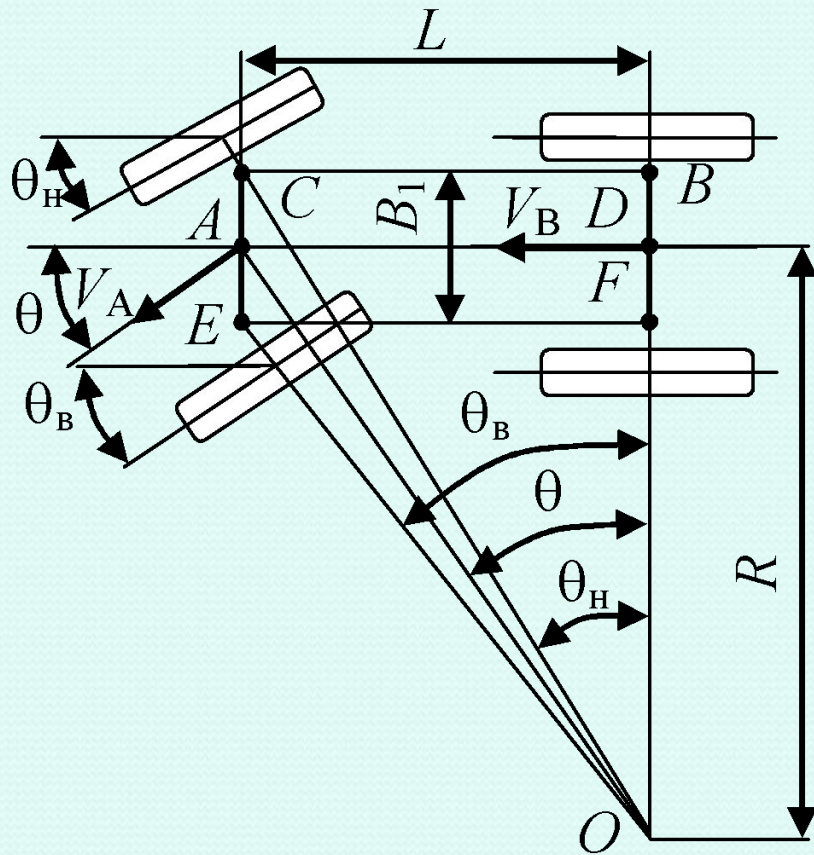
$$F_{y\max} = \phi_y R_z$$

$$F_y = k_y \delta.$$

k_y - коэффициент сопротивления уводу

Управляемость автомобиля

Поворот автомобиля с жесткими колесами



$$\operatorname{ctg} \theta_H = OD / CD,$$

$$\operatorname{ctg} \theta_B = OF / EF,$$

$$\operatorname{ctg} \theta_H - \operatorname{ctg} \theta_B = B_1 / L,$$

$$\theta = (\theta_H + \theta_B) / 2,$$

При малых углах поворота управляемых колес $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$,

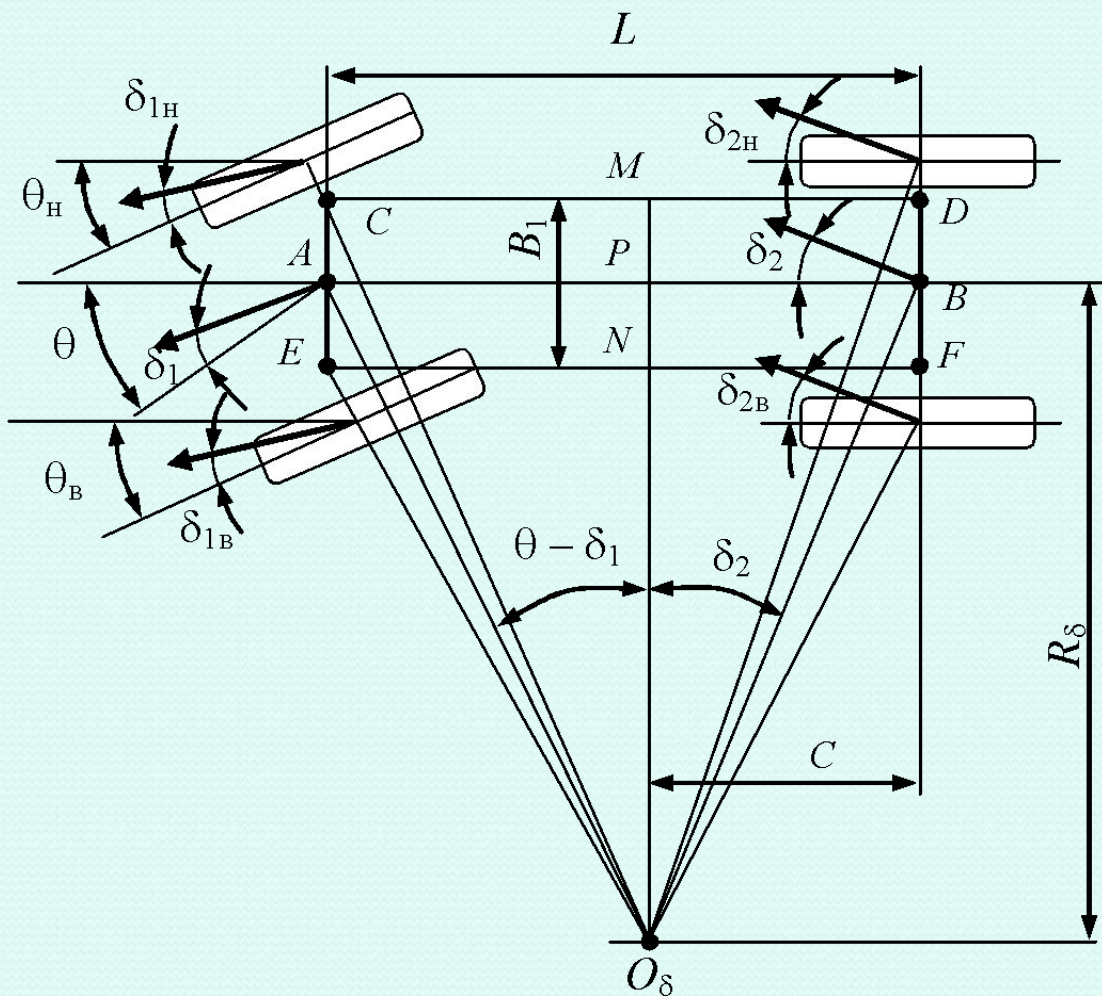
откуда:

$R = L / \operatorname{tg} \theta \approx L / \theta$ - радиус поворота автомобиля

$\omega_a = V / R = V \operatorname{tg} \theta / L \approx V \theta / L$ - угловой скорости поворота автомобиля

Управляемость автомобиля

Поворот автомобиля с эластичными колесами



O_δ - центра поворота

$$AP = R_\delta \operatorname{tg} (\theta - \delta_1),$$

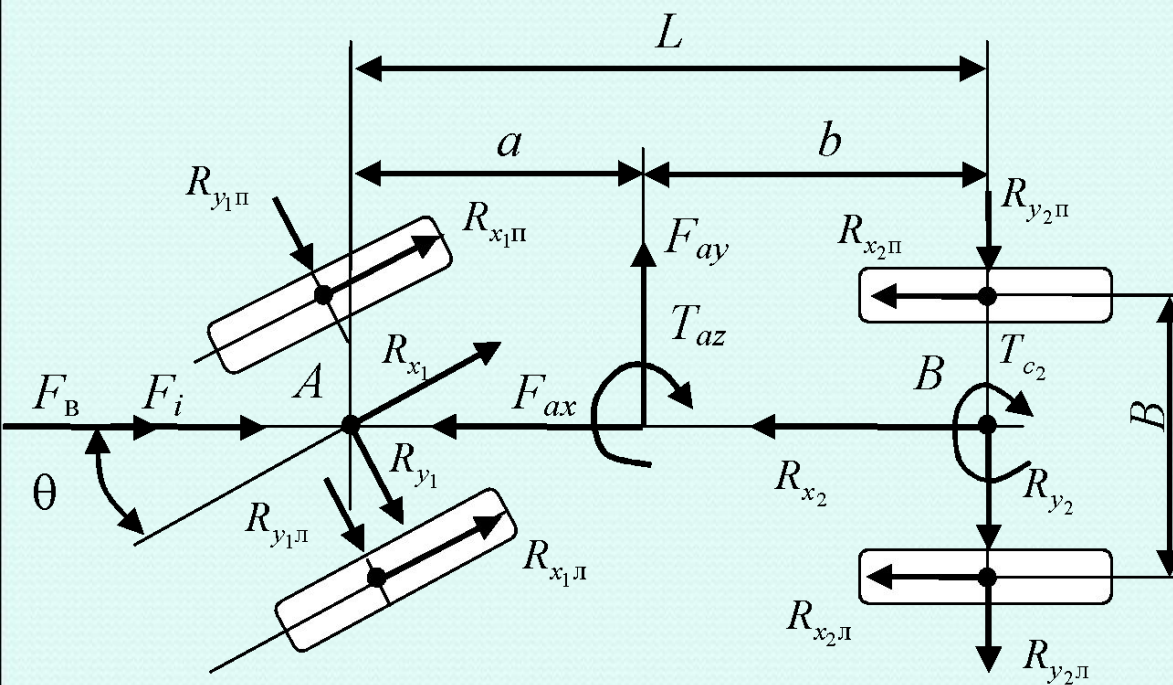
$$BP = R_\delta \operatorname{tg} \delta_2,$$

$$AP + BP = AB = L = \\ = R_\delta [\operatorname{tg} (\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2],$$

откуда радиус поворота: $R_\delta = L / [\operatorname{tg} (\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2] \approx L / (\theta + \delta_2 - \delta_1)$

Управляемость автомобиля

Силы и моменты, действующие на автомобиль при повороте



$F_{ax} = -\delta m_a a_x$ –
продольная
составляющая силы
инерции;

$F_{ay} = -m_a a_y$ –
поперечная
составляющая
силы инерции

$$F_{ay} = F'_{ay} + F''_{ay} + F'''_{ay}$$

ГД
е

$$F'_{ay} = -m_a V^2 / R = -m_a V^2 \theta / L ; \quad F''_{ay} = -m_a V b \ddot{\theta} / L ;$$

$$F'''_{ay} = -m_a V \dot{\theta} / R = -m_a V \dot{\theta} / L$$

Управляемость автомобиля

Силы и моменты, действующие на автомобиль при поворотах

Расчеты показывают, что до 90 % поперечной силы инерции составляет первое слагаемое F'_{ay} ,

F''_{ay} имеет существенное значение при резких поворотах управляемых колес,

F'''_{ay} – при резких разгонах и торможениях.

Инерционный момент: $T_{az} = -J_z \varepsilon_a = -m_a \rho_z^2 \varepsilon_a$

где J_z и ρ_z – соответственно момент и радиус инерции автомобиля относительно вертикальной оси z , проходящей через центр масс

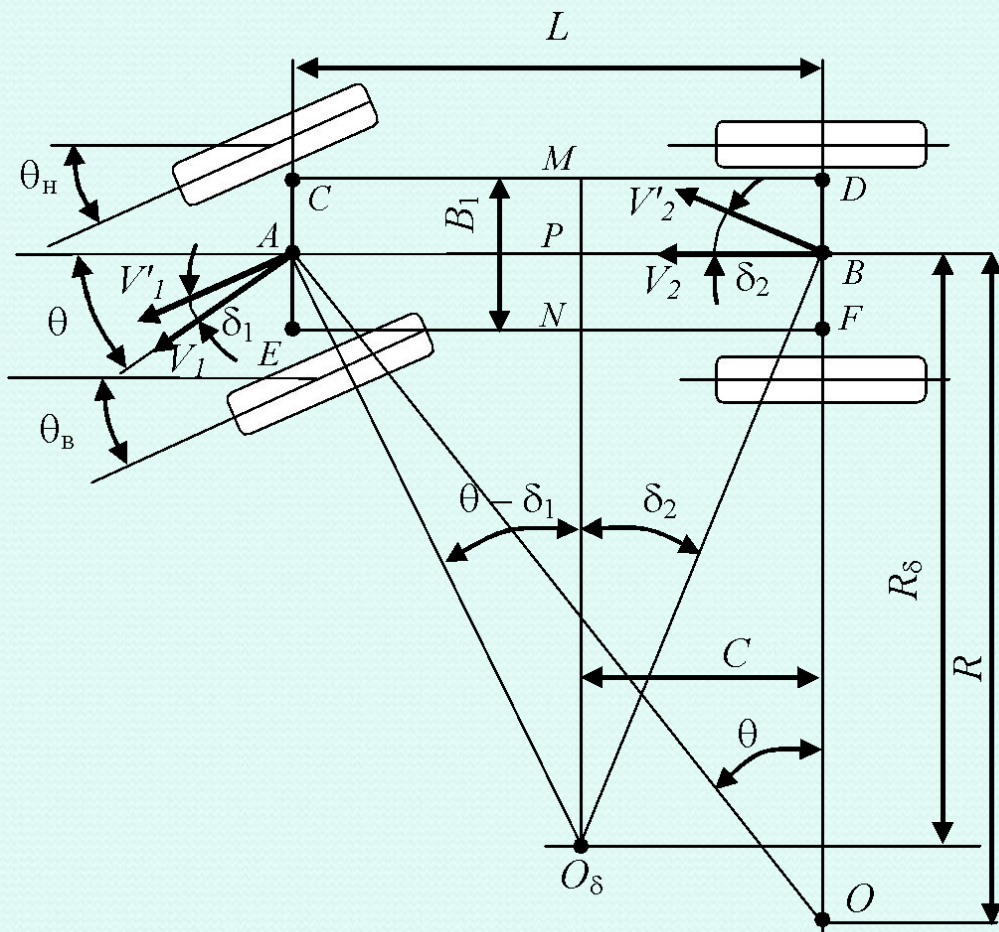
$$\rho_z^2 \approx ab$$

При установившемся движении:

$$R_{y_1} = m_{a_1} V^2 / R, \quad R_{y_2} = m_{a_2} V^2 / R$$

Управляемость автомобиля

Поворачиваемость автомобиля



$\theta = L / R$ – с жесткими колесами

$\theta = L / R_{\delta} + \delta_1 - \delta_2$ – с эластичными колесами

Нейтральная поворачиваемость: $\delta_1 = \delta_2$ $R_{\delta} = R$

Недостаточная поворачиваемость: $\delta_1 > \delta_2$ $R_{\delta} > R$

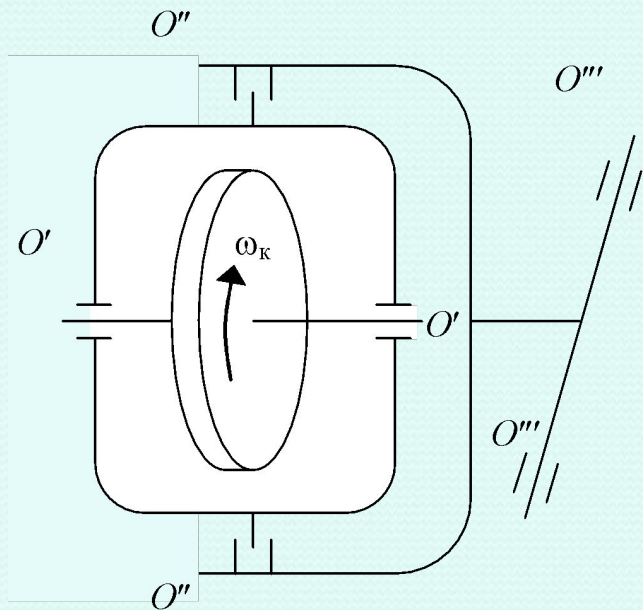
Избыточная поворачиваемость: $\delta_1 < \delta_2$ $R_{\delta} < R$

Управляемость автомобиля

Колебания управляемых колес вокруг шкворней

Колебания, обусловленные гироскопическим моментом управляемых колес

Гироскопический момент:



Принципиальная схема гироскопа

$$T_{\Gamma_1} = J_K \omega_K d\gamma / dt$$

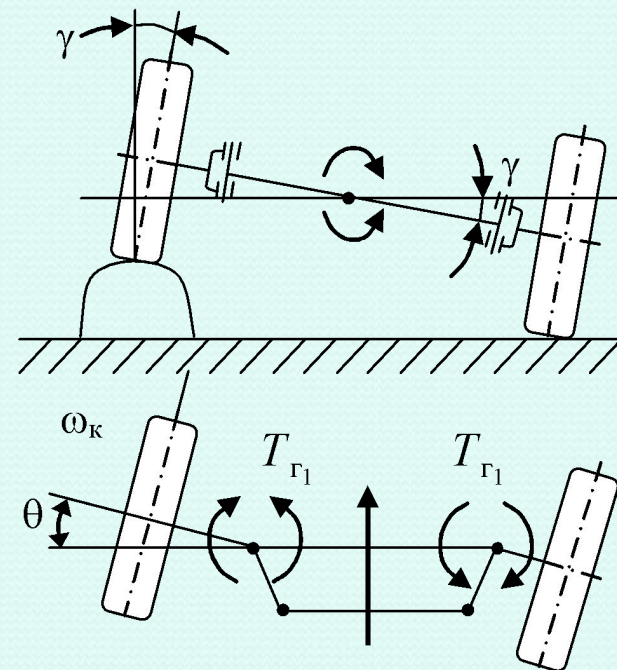
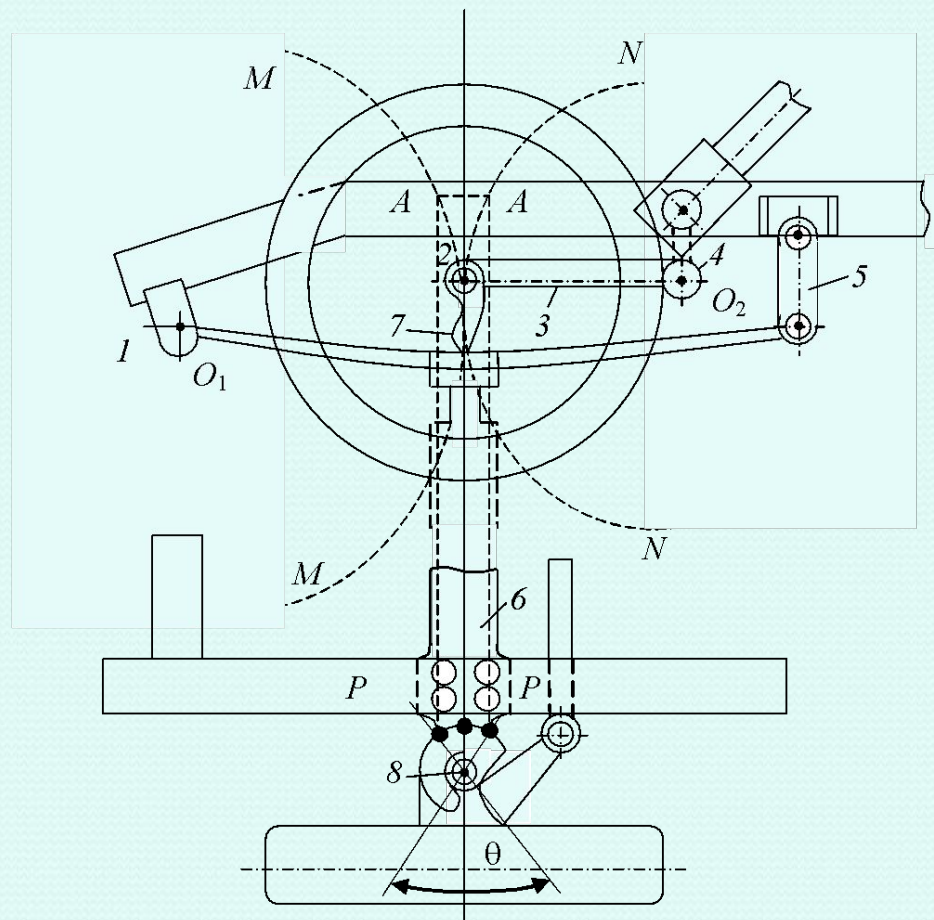


Схема действия гироскопических моментов на управляемые колеса

Управляемость автомобиля

Колебания управляемых колес вокруг шкворней

Колебания, обусловленные несоответствием кинематики подвески и рулевого колеса



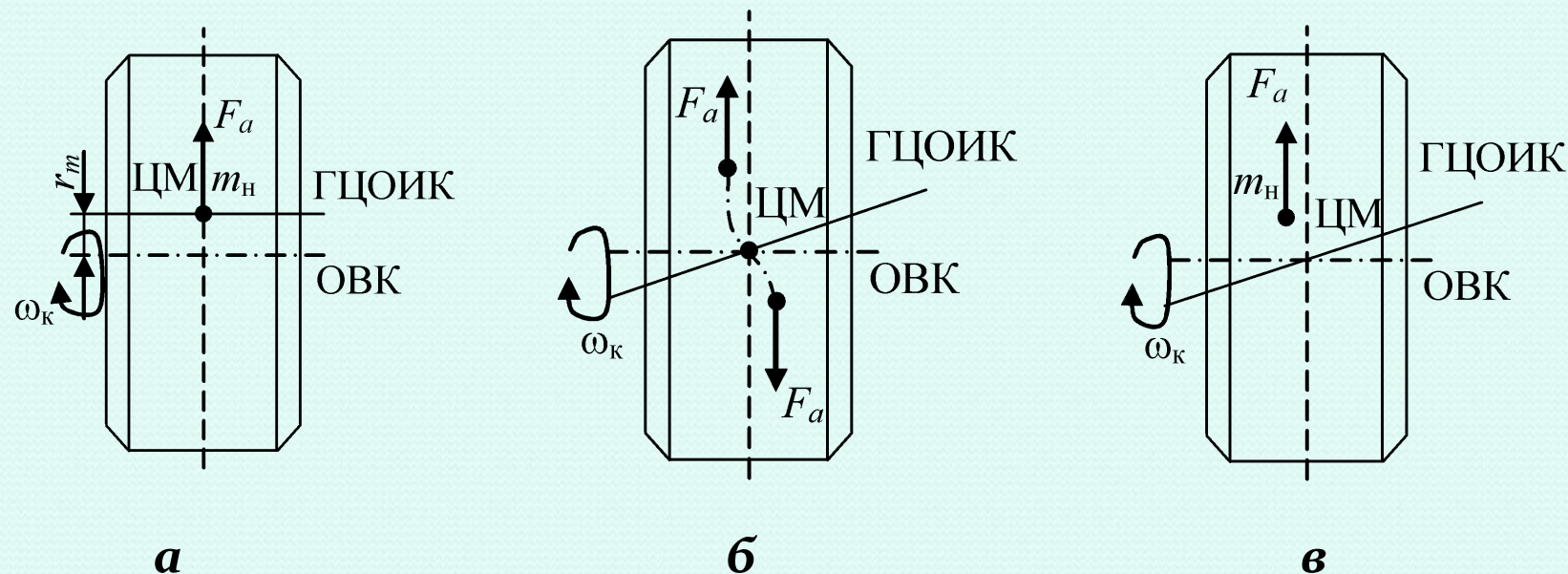
- 1 – шарнир,
- 2 – шаровой палец,
- 3 – продольная рулевая тяга,
- 4 – шарнир рулевой сошки,
- 5 – серьга,
- 6 – ось,
- 7 – поворотный рычаг,
- 8 – шкворень

Схема несоответствия кинематики подвески и рулевого привода

Управляемость автомобиля

Колебания управляемых колес вокруг шкворней

Колебания, обусловленные неуравновешенностью управляемых колес



Схемы дисбаланса колес:

а – статического; б – динамического; в – комбинированного

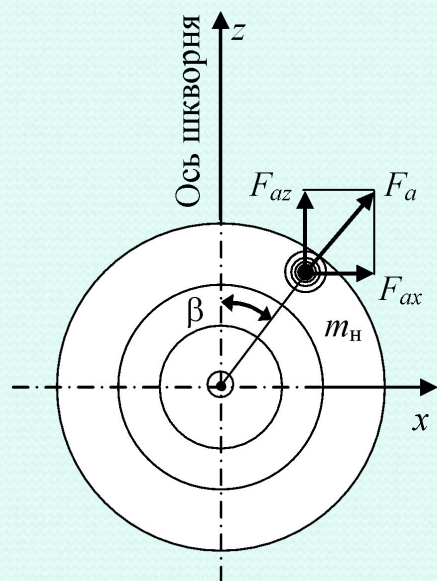
Центробежная сила инерции:
$$F_a = m_H r_m \omega_K^2$$

где m_H – неуравновешенная масса; r_m – эксцентриситет или плечо приложения неуравновешенной массы; ω_K – угловая скорость

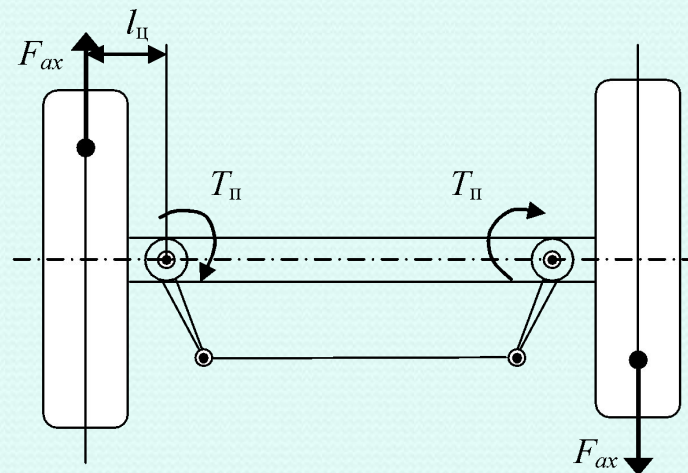
Управляемость автомобиля

Колебания управляемых колес вокруг шкворней

Колебания, обусловленные неуравновешенностью управляемых колес



а



б

**Схема возникновения возмущающих моментов
от неуравновешенности колес:**

а – сила инерции при статическом дисбалансе;

б – поворачивающие моменты на управляемых колесах

Управляемость автомобиля

Колебания управляемых колес вокруг шкворней

Колебания, обусловленные неуравновешенностью управляемых колес

Центробежная сила F_a может быть представлена в виде двух составляющих:

$$F_{ax} = m_H r_m \omega_K^2 \sin(\omega_K t)$$

$$F_{az} = m_H r_m \omega_K^2 \cos(\omega_K t)$$

Поворачивающий
момент

$$T_{\Pi} = F_{ax} l_{\Pi} = m_H r_m \omega_K^2 l_{\Pi} \sin(\omega_K t)$$

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет увода

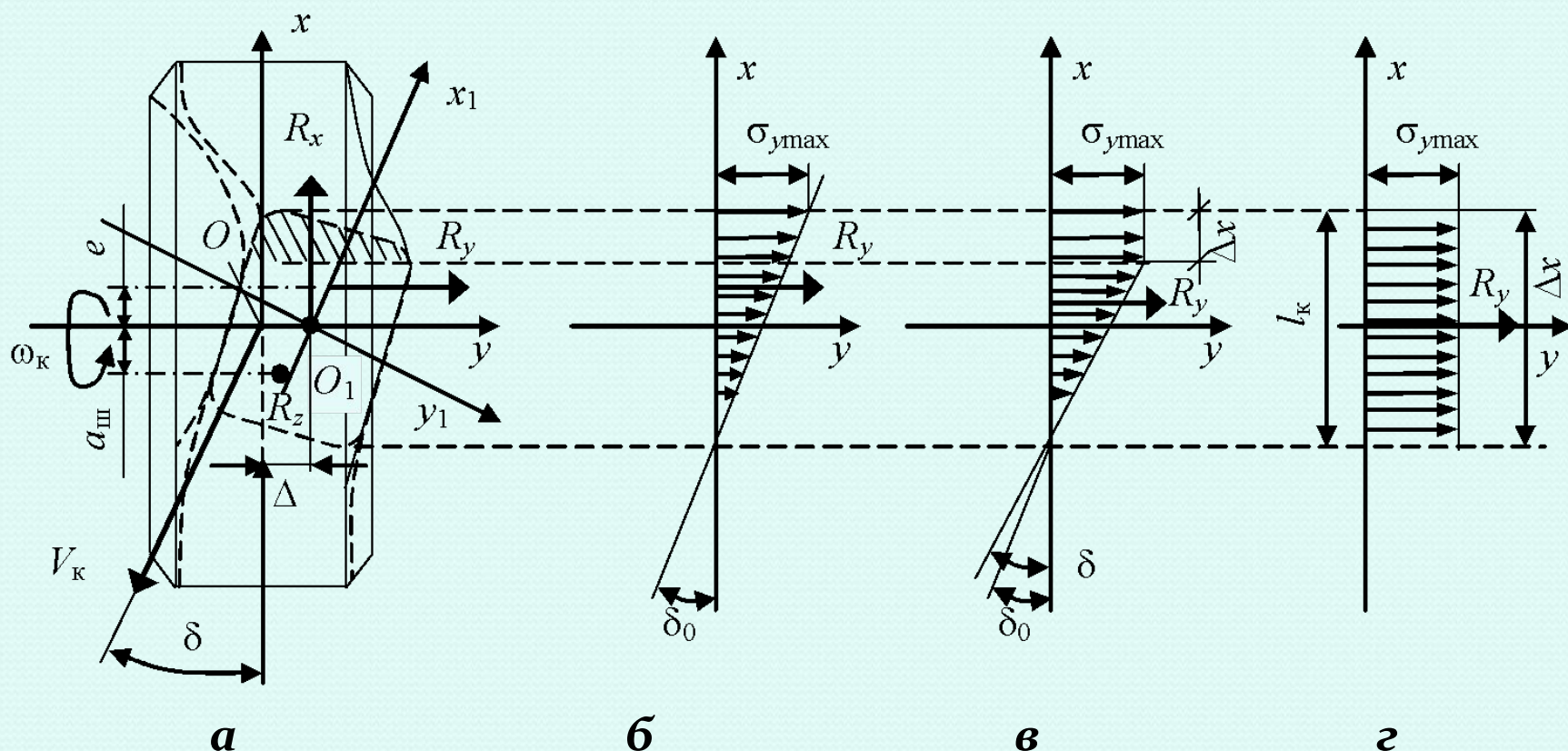


Схема стабилизации управляемых колес за счет увода:

а – точки приложения реакций; **б, в, г** – эпюры распределения элементарных боковых реакций соответственно при чистом уводе, уводе со скольжением и полном скольжении

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет увода

Поперечный стабилизирующий момент
шины:

$$T_{\text{ст } y}^{\delta} = R_y e = k_y \delta e$$

Продольный стабилизирующий момент
шины:

$$T_{\text{ст } x}^{\delta} = R_x \Delta$$

Полный стабилизирующий момент
шины:

$$T_{\text{ст}}^{\delta} = T_{\text{ст } y}^{\delta} \pm T_{\text{ст } x}^{\delta} = R_y e \pm R_x \Delta$$

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет увода

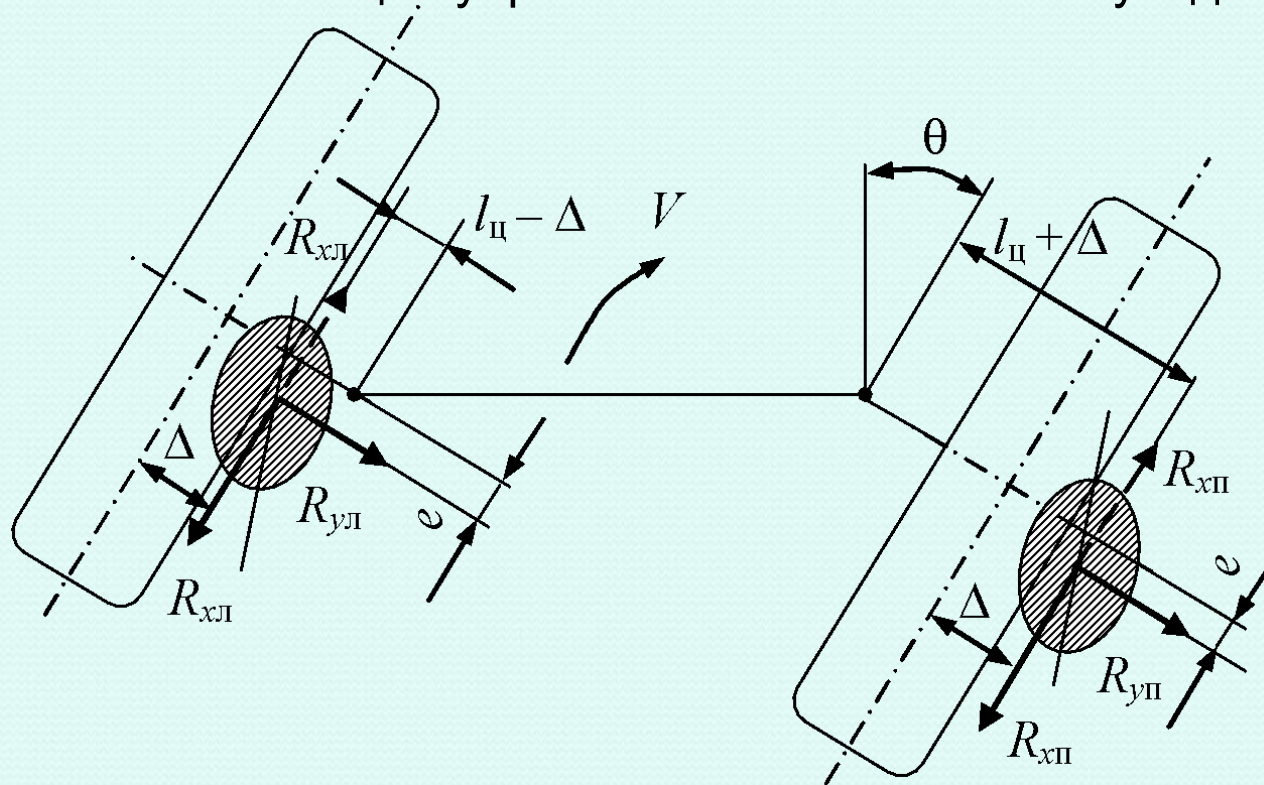


Схема возникновения стабилизирующих моментов при случайном повороте управляемых колес

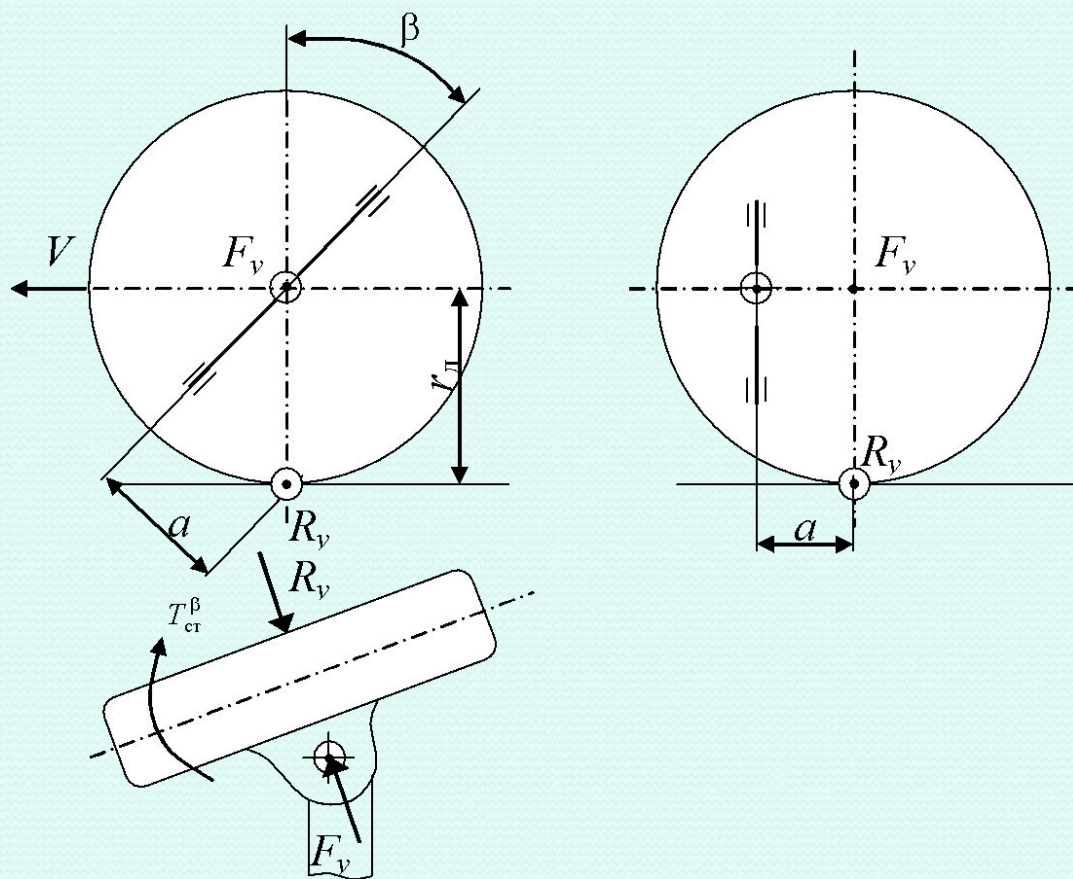
$T_{ст y}^{\delta} = R_{yl} e + R_{yr} e = R_y e$ – суммарный поперечный стабилизирующий момент

$T_{ст x}^{\delta} = R_{xr} (l_{ц} + \Delta) - R_{xl} (l_{ц} - \Delta) = R_x \Delta$ – суммарный стабилизирующий (дестабилизирующий) момент от продольных сил

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет продольного наклона или смещения шкворня



Стабилизирующий момент:

$$T_{ст} = R_y a$$

$$T_{ст}^\beta = R_y r_d \sin \beta$$

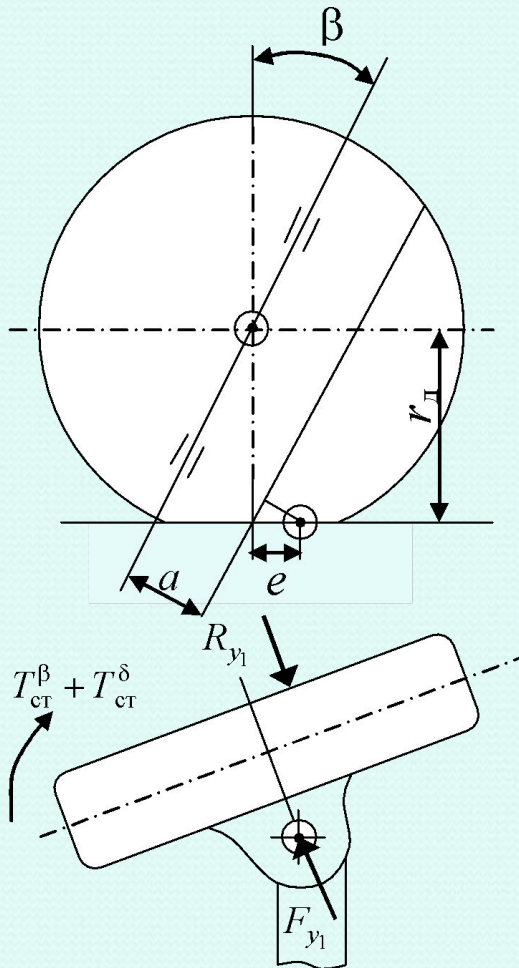
а **б**
Схема стабилизации управляемых колес за счет:

a – продольного наклона; β – смещения шкворня

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет продольного наклона или смещения шкворня (оси поворота колеса)



Суммарный стабилизирующий момент:

$$T_{ст}^{\beta} + T_{ст}^{\delta} = R_{y1} (r_d \sin \beta + e \cos \beta)$$

При малых углах продольного наклона шкворня:

$$T_{ст}^{\beta} + T_{ст}^{\delta} \approx R_{y1} (r_d \beta + e)$$

При движении по круговой траектории:

$$T_{ст}^{\beta} + T_{ст}^{\delta} = m_a b V^2 (r_d \beta + e) / (LR \cos \theta)$$

Схема стабилизации эластичных управляемых колес

Управляемость автомобиля

Стабилизация управляемых колес

Стабилизация управляемых колес за счет поперечного наклона шкворня (оси поворота колеса)

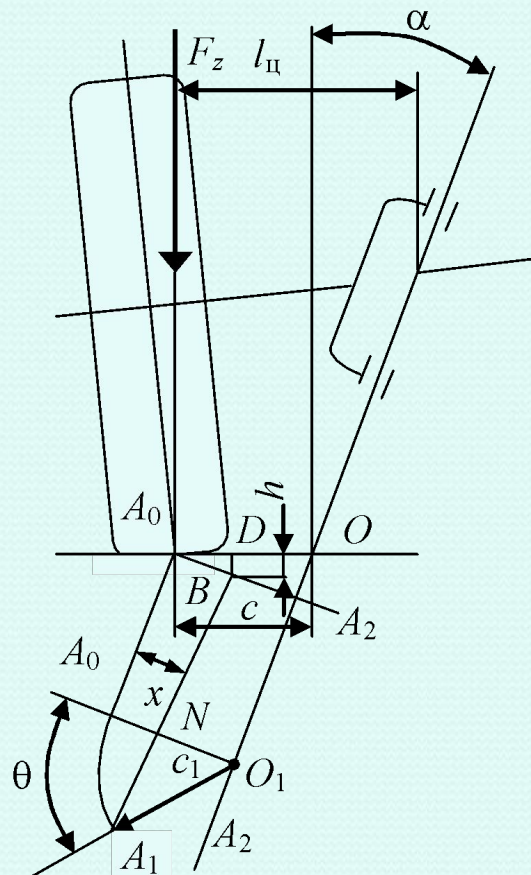


Схема стабилизации управляемых колес за счет поперечного наклона шкворня

$d\Pi = F_z dh$ – запас потенциальной энергии

$dA = T_{\text{ст}} d\theta$ – элементарная работа стабилизирующего момента

$$T_{\text{ст}} = F_z dh / d\theta \quad T_{\text{ст}}^{\alpha} = G_{a_1} dh / d\theta$$

$$h = x \sin \alpha; \quad x = c_1 - c_1 \cos \theta = c_1 (1 - \cos \theta);$$
$$h = c_1 (1 - \cos \theta) \sin \alpha; \quad dh / d\theta = c_1 \sin \theta \sin \alpha;$$

$$c_1 = c \cos \alpha,$$

где c – плечо

обкатки

$$T_{\text{ст}}^{\alpha} = G_{a_1} c \sin \theta \cos \alpha \sin \alpha$$