

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Поворот колесных машин

ВОПРОСЫ

1. Кинематика поворота колесных машин
2. Динамика поворота колесных машин
3. Факторы, влияющие на поворачиваемость колесных машин

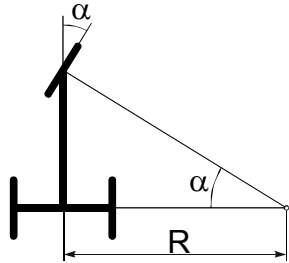
Управляемость колесных машин – способность сохранять заданное направление движения, а при необходимости – изменять его по требуемой траектории

Соответственно, способность сохранять заданное направление движения называется **устойчивостью движения**, а способность изменять заданное направление по требуемой траектории - **поворачиваемостью**

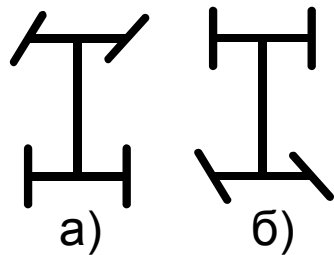
**Кинематика поворота
колесных машин**

Способы поворота колесных машин

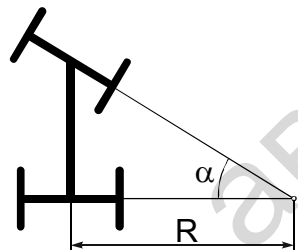
1 – поворот одного переднего колеса трехколесной машины



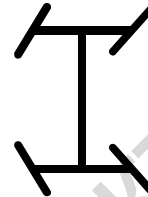
2 – поворот передних (а) или задних (б) управляемых колес



3 – поворот переднего моста



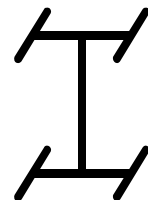
4 – поворот передних и задних колес в противоположные стороны на одинаковый угол



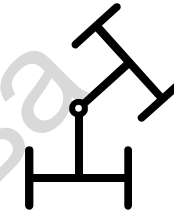
5 – поворот передних и задних колес в одну сторону на разные углы



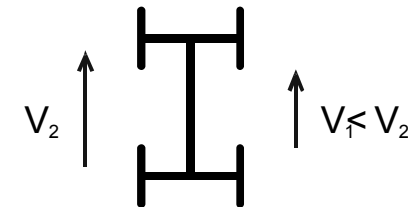
6 – поворот передних и задних колес в одну сторону на одинаковый угол (движение «крабом» или «собачий ход»)



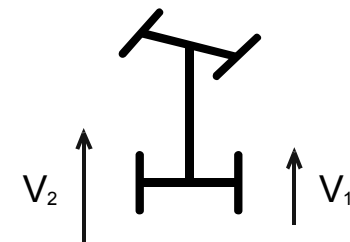
7 – поворот полурам («ломающаяся рама»)



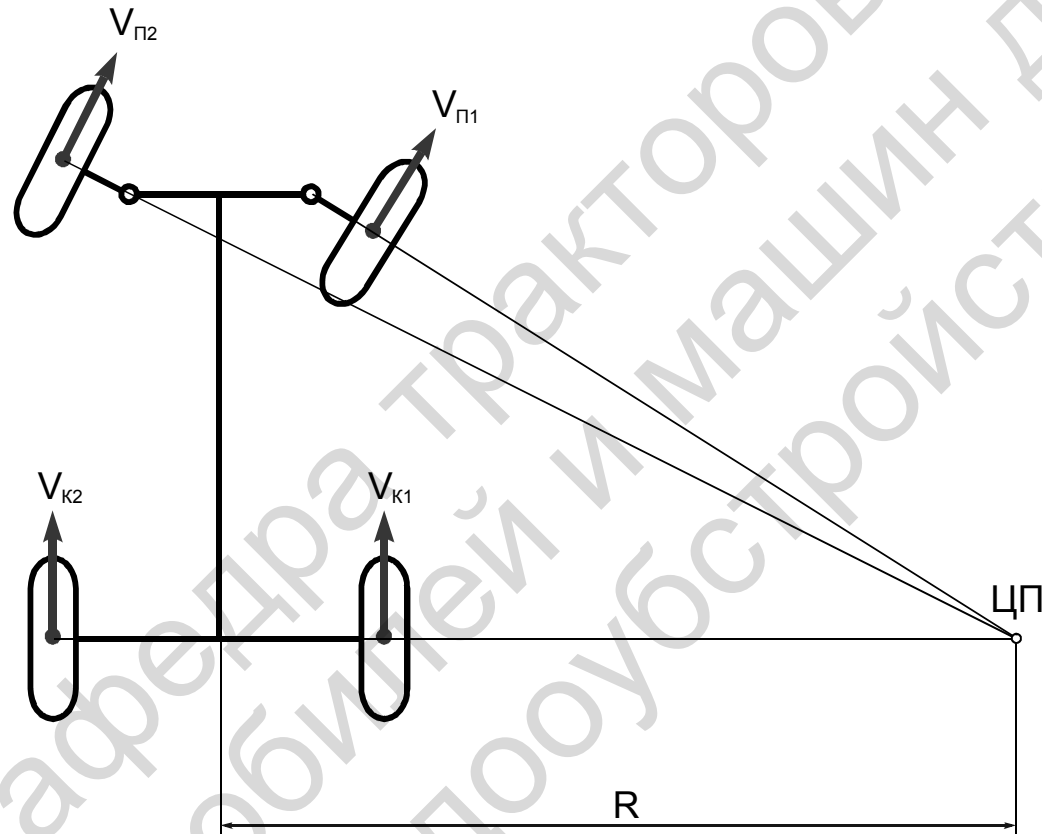
8 – бортовой поворот



9 – комбинированный поворот

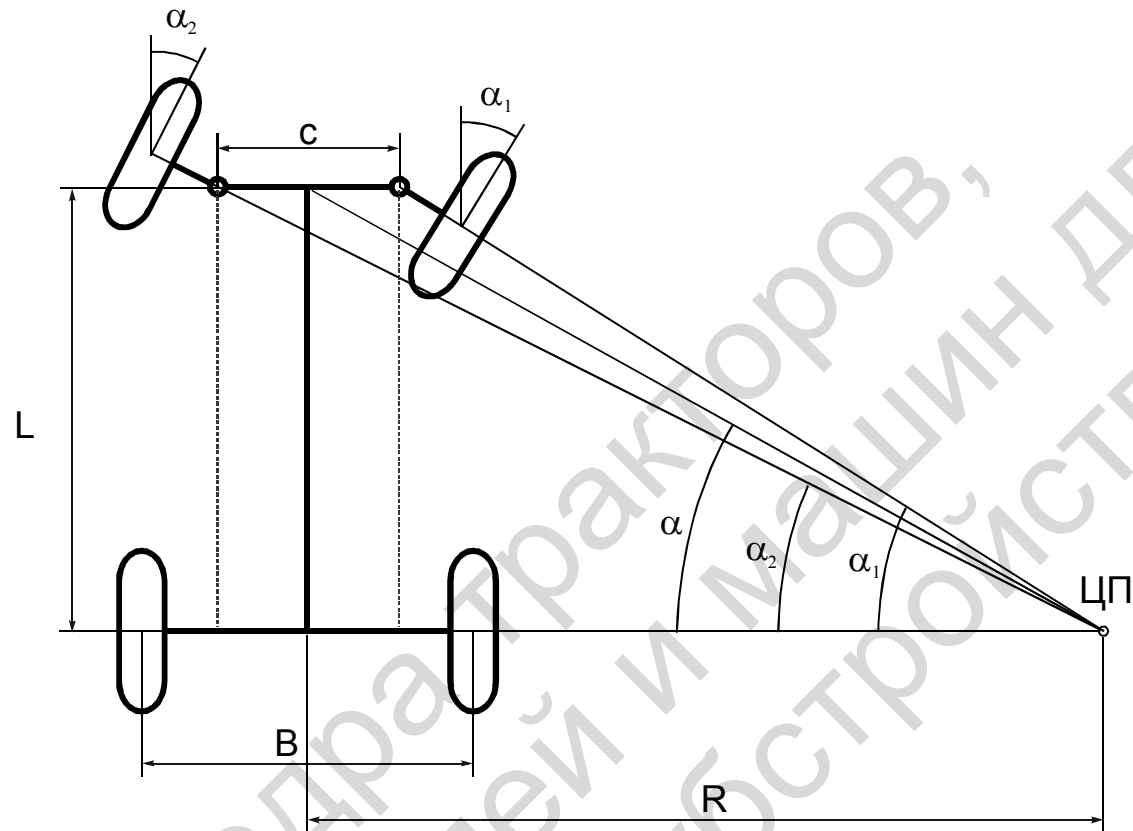


Кинематика поворота колесной машины с передними управляемыми колесами



Цент поворота – точка пересечения линий, проходящих через начала векторов скоростей движения всех колес перпендикулярно этим векторам

Радиус поворота – расстояние от центра поворота до продольной оси машины



Радиус поворота определится из суммы котангенсов углов поворота левого и правого колес

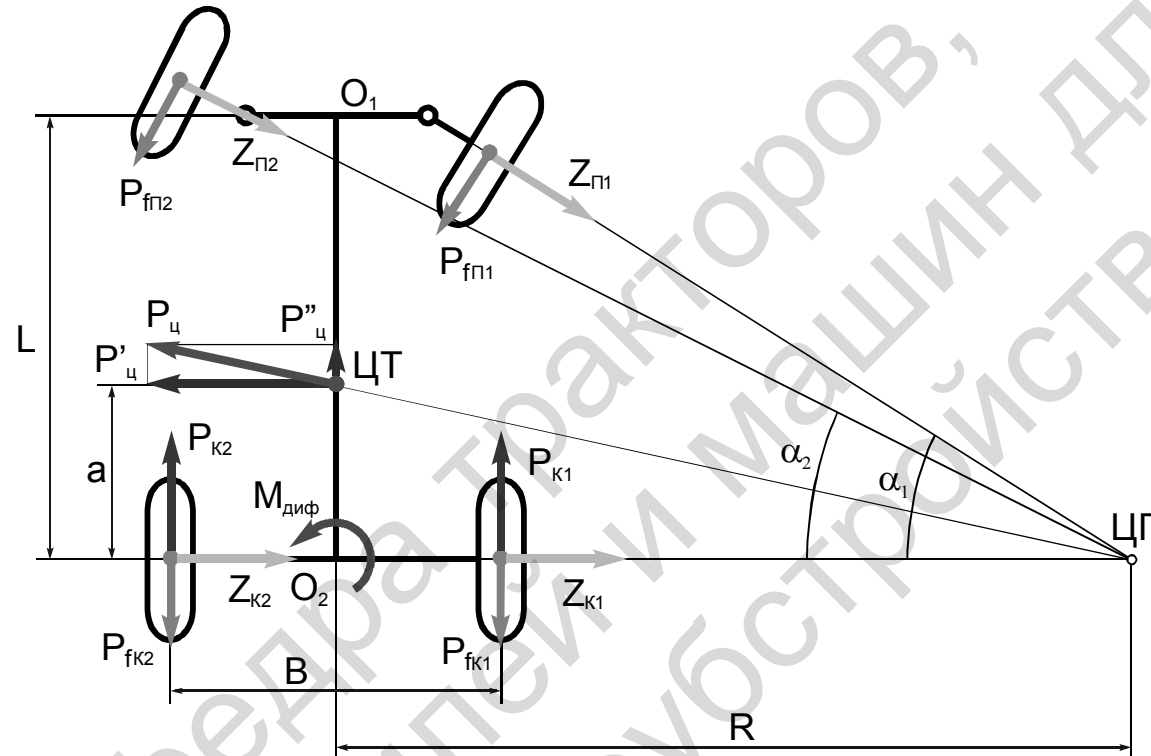
$$\operatorname{ctg}\alpha_2 + \operatorname{ctg}\alpha_1 = \frac{R + 0,5c}{L} + \frac{R - 0,5c}{L} = \frac{2R}{L}$$

$$R = L \frac{\operatorname{ctg}\alpha_2 + \operatorname{ctg}\alpha_1}{2} = L \operatorname{ctg}\alpha$$

α – средний угол поворота управляемых колес

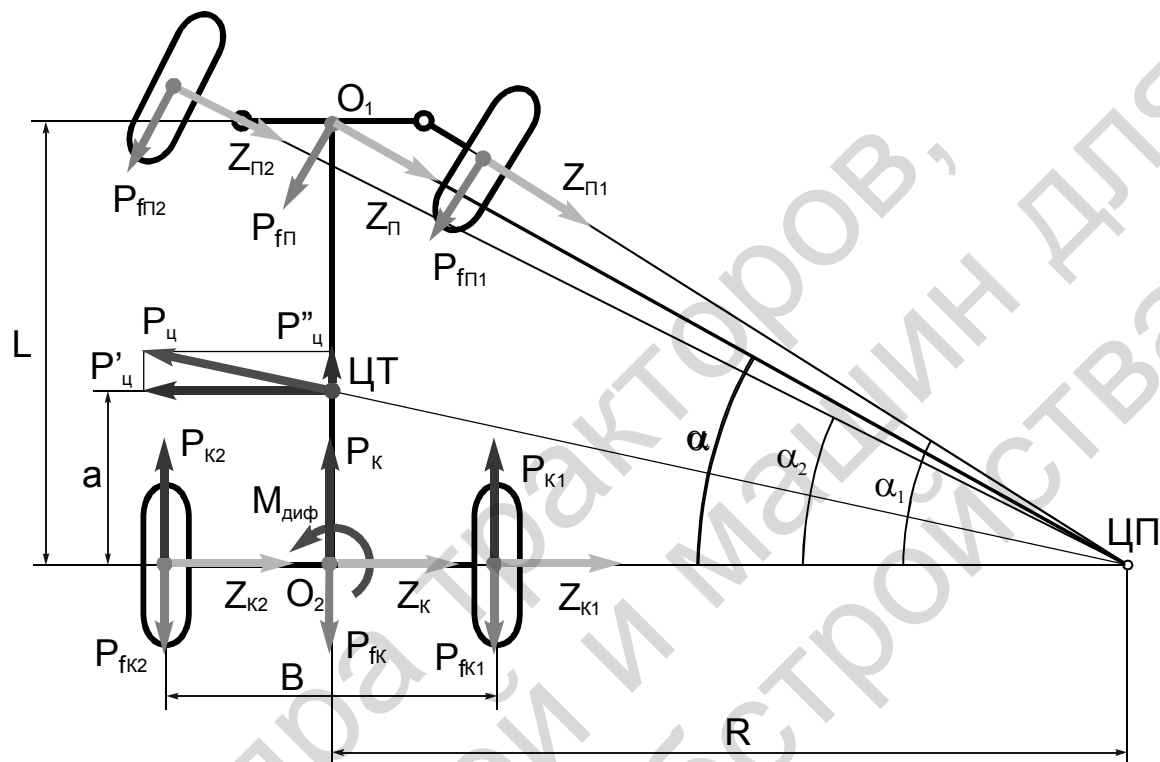
$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{\operatorname{ctg}\alpha_2 + \operatorname{ctg}\alpha_1}{2}$$

Динамика поворота колесных машин



На повороте на колесную машину действуют следующие силы и моменты:

- силы сопротивления качению P_f
- касательные силы тяги P_k
- центробежная сила $P_{ц}$
- боковые реакции дороги Z
- момент в дифференциале $M_{диф}$



Упростим схему, заменив действие сил на колеса действием сил на мостах:

Точка O_1 :

$$\vec{P}_{fn} = \vec{P}_{fn2} + \vec{P}_{fn1}$$

$$\vec{Z}_n = \vec{Z}_{n2} + \vec{Z}_{n1}$$

Точка O_2 :

$$P_k = P_{k2} + P_{k1}$$

$$Z_k = Z_{k2} + Z_{k1}$$

$$P_{fk} = P_{fk2} + P_{fk1}$$

Для определения величины **поворачивающей силы** составим уравнение моментов относительно точки O_2

$$\Sigma M_{O_2} = Z_{\Pi} L \cos \alpha - P_{\text{фп}} L \sin \alpha - P'_{\text{ц}} a - M_{\text{диф}} = 0$$

Поворачивающая сила – результирующая боковых реакций дороги, действующая на управляемые колеса при отклонении их от нейтрального положения

$$Z_{\Pi} = P_{\text{фп}} \operatorname{tg} \alpha + \frac{P'_{\text{ц}} a}{L \cos \alpha} + \frac{M_{\text{диф}}}{L \cos \alpha}$$

$$P_{\text{фп}} = fG(1 - \lambda_{\kappa})$$

$$P'_{\text{ц}} = \frac{mV^2}{13R} = \frac{GV^2}{13gR}$$

$$R = L \operatorname{ctg} \alpha = \frac{L}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$Z_{\Pi} = G \operatorname{tg} \alpha \left[f(1 - \lambda_{\kappa}) + \frac{V^2 a}{13gL^2 \cos \alpha} \right] + \frac{M_{\text{диф}}}{L \cos \alpha}$$

Поворачивающая сила пропорциональна:

- углу поворота управляемых колес
- скорости движения (квадрату скорости)
- моменту в дифференциале

Дифференциал:

– разблокирован – $M_{\text{диф}} = (0,01 \dots 0,03) P_{\kappa} b$

– заблокирован – $M_{\text{диф}} = (0,4 \dots 0,5) P_{\kappa} b$

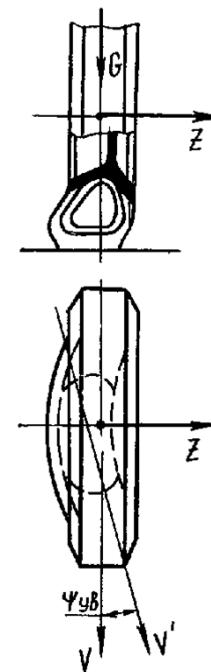
b – ширина колеса, B – ширина колеи

Факторы, влияющие на поворачиваемость колесных машин

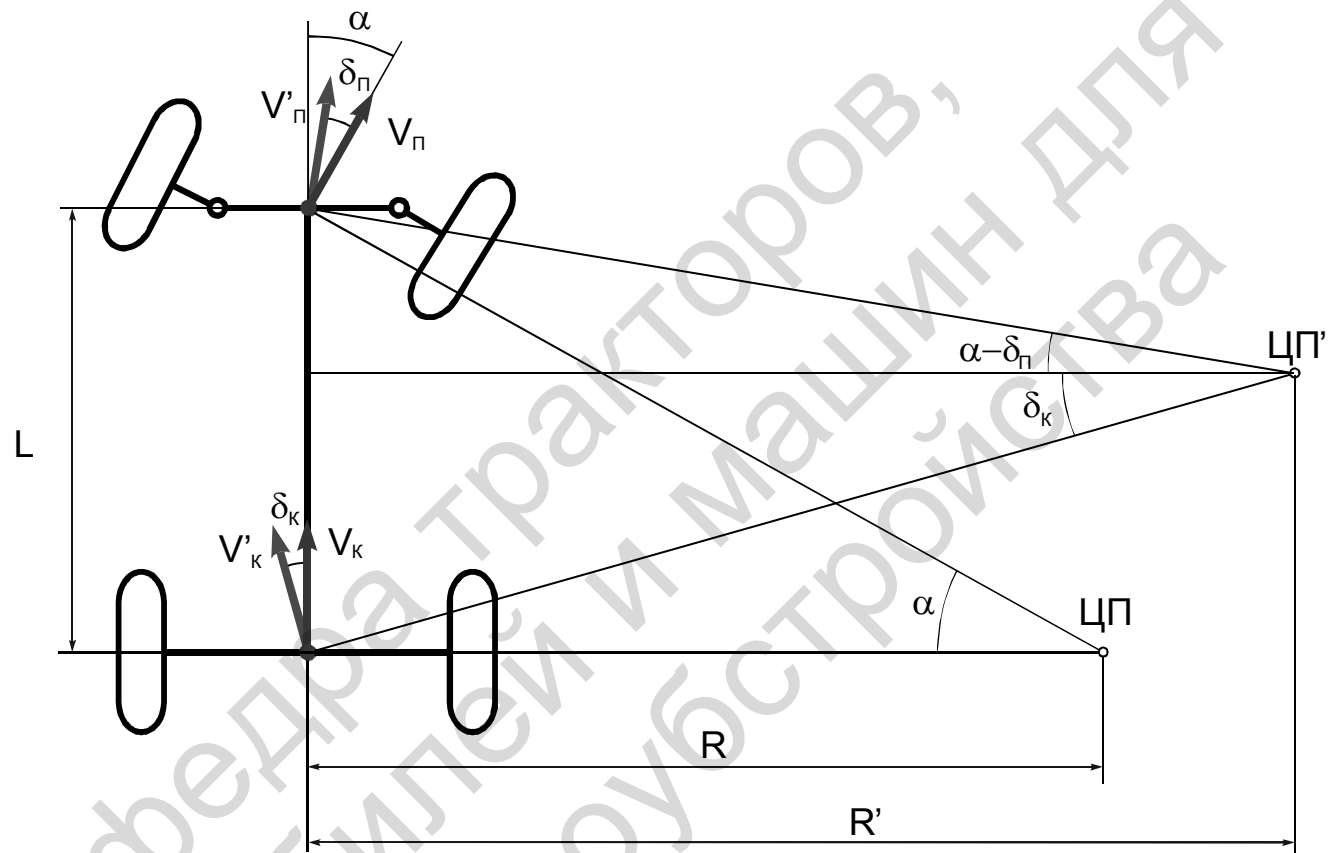
Боковой увод шин – отклонение траектории движения колеса на угол, называемый **углом бокового увода**, вследствие деформации эластичной шины под действием боковой силы

Боковое скольжение колес – отклонение траектории движения колеса на угол, называемый **углом бокового скольжения**, вследствие скольжения шины относительно поверхности под действием боковой силы

При наличии бокового увода шин или бокового скольжения колес векторы скоростей движения передних и задних колес отклоняются от теоретического направления на величину углов бокового увода (скольжения), вследствие чего центр поворота смещается и действительный радиус поворота колесной машины отличается от теоретического



Боковой увод шин



$$L = R' \operatorname{tg} \delta_k + R' \operatorname{tg} (\alpha - \delta_{\Pi})$$

откуда

$$R' = \frac{L}{\operatorname{tg} \delta_k + \operatorname{tg} (\alpha - \delta_{\Pi})}$$

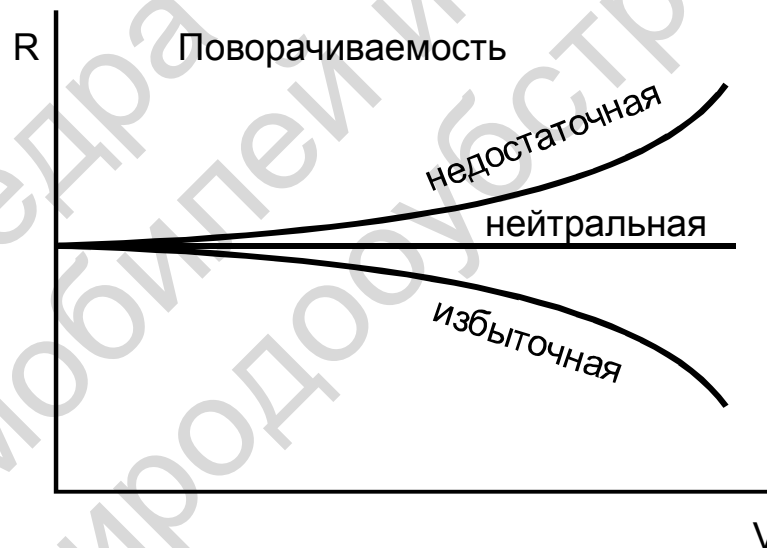
$$\operatorname{tg} (\alpha - \delta_{\Pi}) = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \delta_{\Pi}}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta_{\Pi}} \quad R' = \frac{L(1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta_{\Pi})}{\operatorname{tg} \delta_k + \operatorname{tg} \delta_k \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta_{\Pi} + \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \delta_{\Pi}}$$

$$R' \approx \frac{L}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \delta_{\kappa} - \operatorname{tg} \delta_{\Pi}}$$

$\delta_{\Pi} > \delta_{\kappa} \rightarrow R' > R$ – недостаточная поворачиваемость

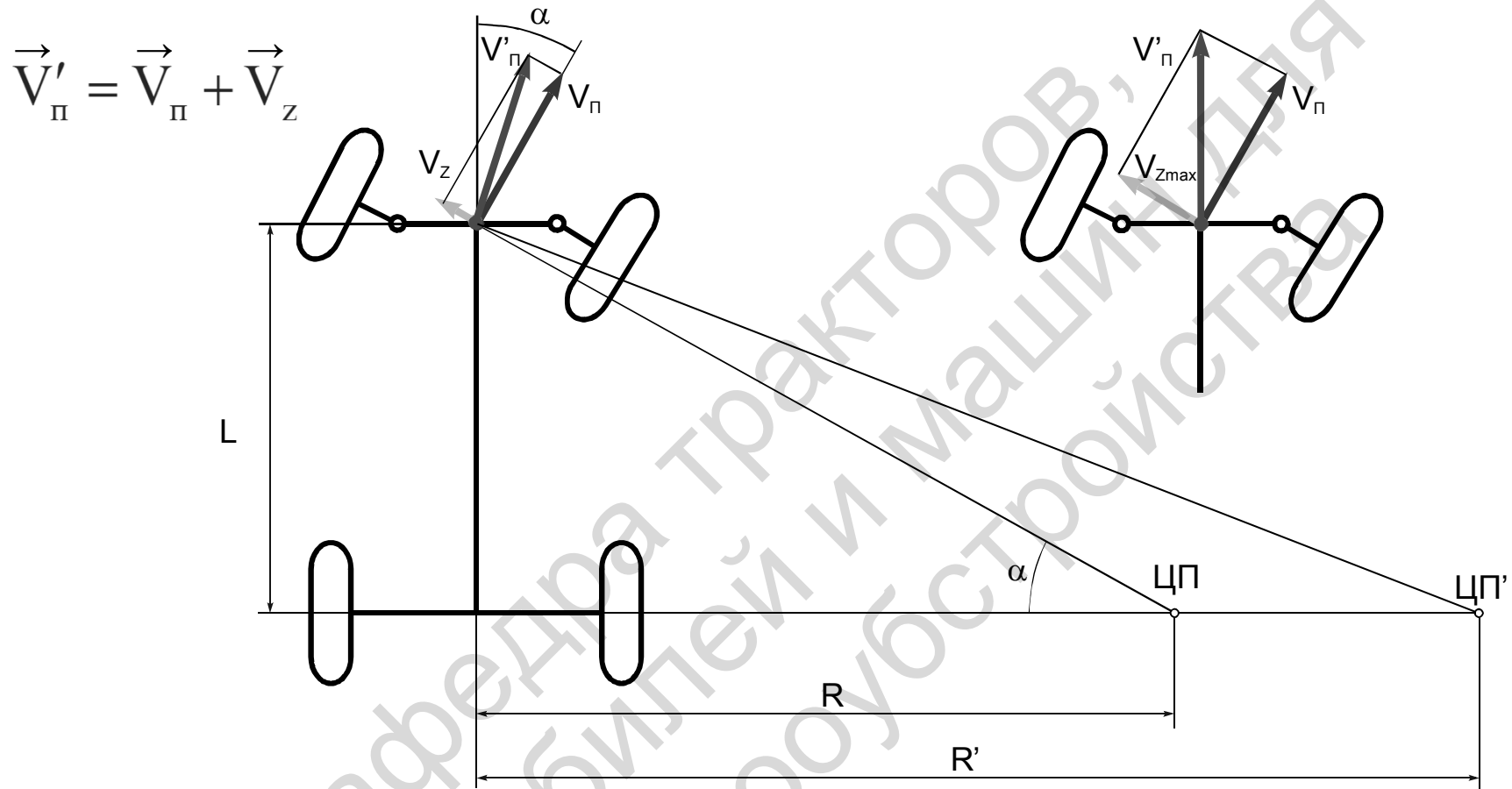
$\delta_{\Pi} < \delta_{\kappa} \rightarrow R' < R$ – избыточная поворачиваемость

$\delta_{\Pi} = \delta_{\kappa} \rightarrow R' = R$ – нейтральная поворачиваемость



Зависимость радиуса поворота от скорости движения при закреплённом рулевом колесе ($\alpha = \text{const}$)

Боковое скольжение колес



$R' > R$

При $V_z = V_{\Pi} \operatorname{tg} \alpha$ поворот невозможен ($R' = \infty$)

Условие сохранения управляемости

– кинематика: $V_z < V_{\Pi} \operatorname{tg} \alpha$

– динамика: $Z_{\Pi} < Z_{\varphi}$

$Z_{\varphi} = \varphi G(1 - \lambda_k)$ – сила сцепления управляемых колес с дорогой

ТЕМА ЛЕКЦИИ

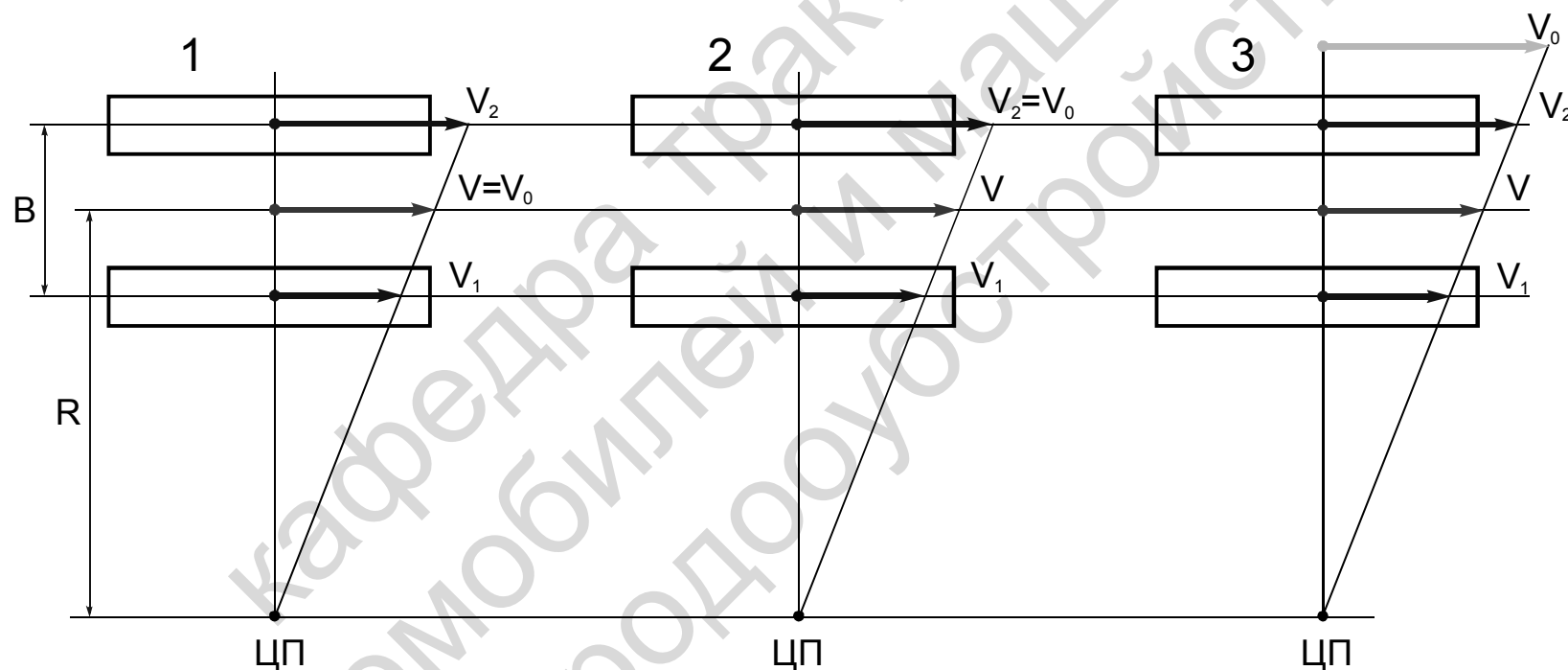
Поворот гусеничных машин

ВОПРОСЫ

1. Кинематика поворота гусеничных машин
2. Динамика поворота гусеничных машин
3. Влияние эпюры давления гусеничного движителя на момент сопротивления повороту

Кинематика поворота гусеничных машин

Поворот гусеничной машины осуществляется за счет изменения скоростей движения гусениц. Гусеница, движущаяся с **большей** скоростью, называется **забегающей**, с **меньшей** – **отстающей**.

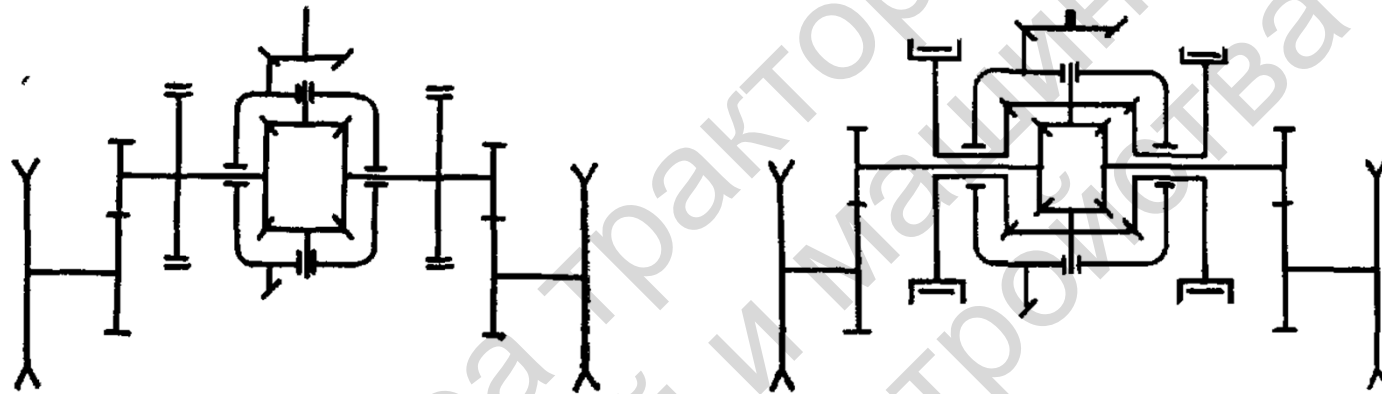


Цент поворота – точка пересечения линий, проходящих через начала и концы векторов скоростей движения левой и правой гусениц

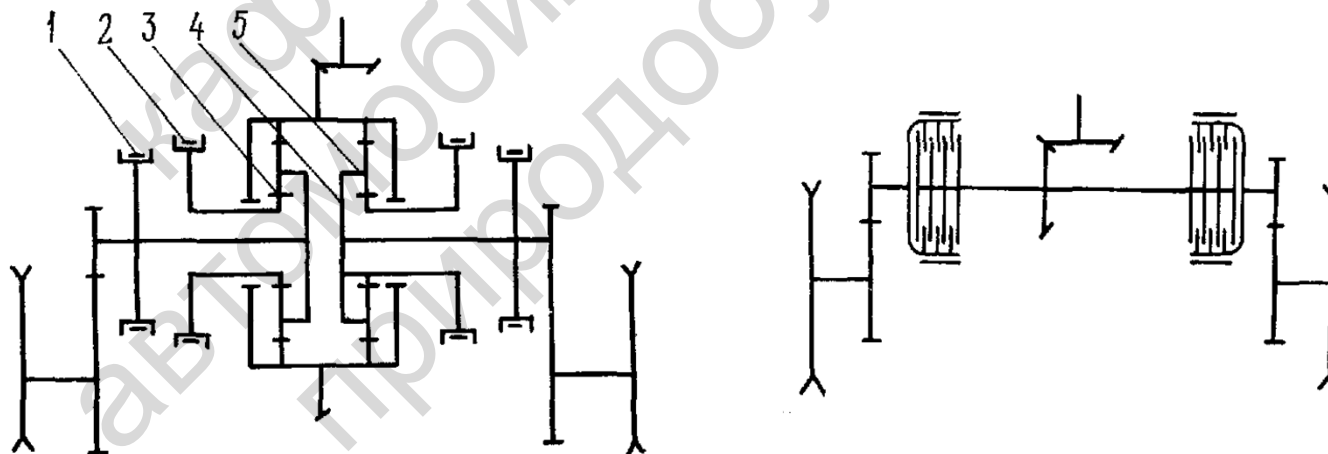
Радиус поворота – расстояние от центра поворота до продольной оси машины

По соотношению скоростей движения машины и ее гусениц до поворота и на повороте различают три группы механизмов поворота

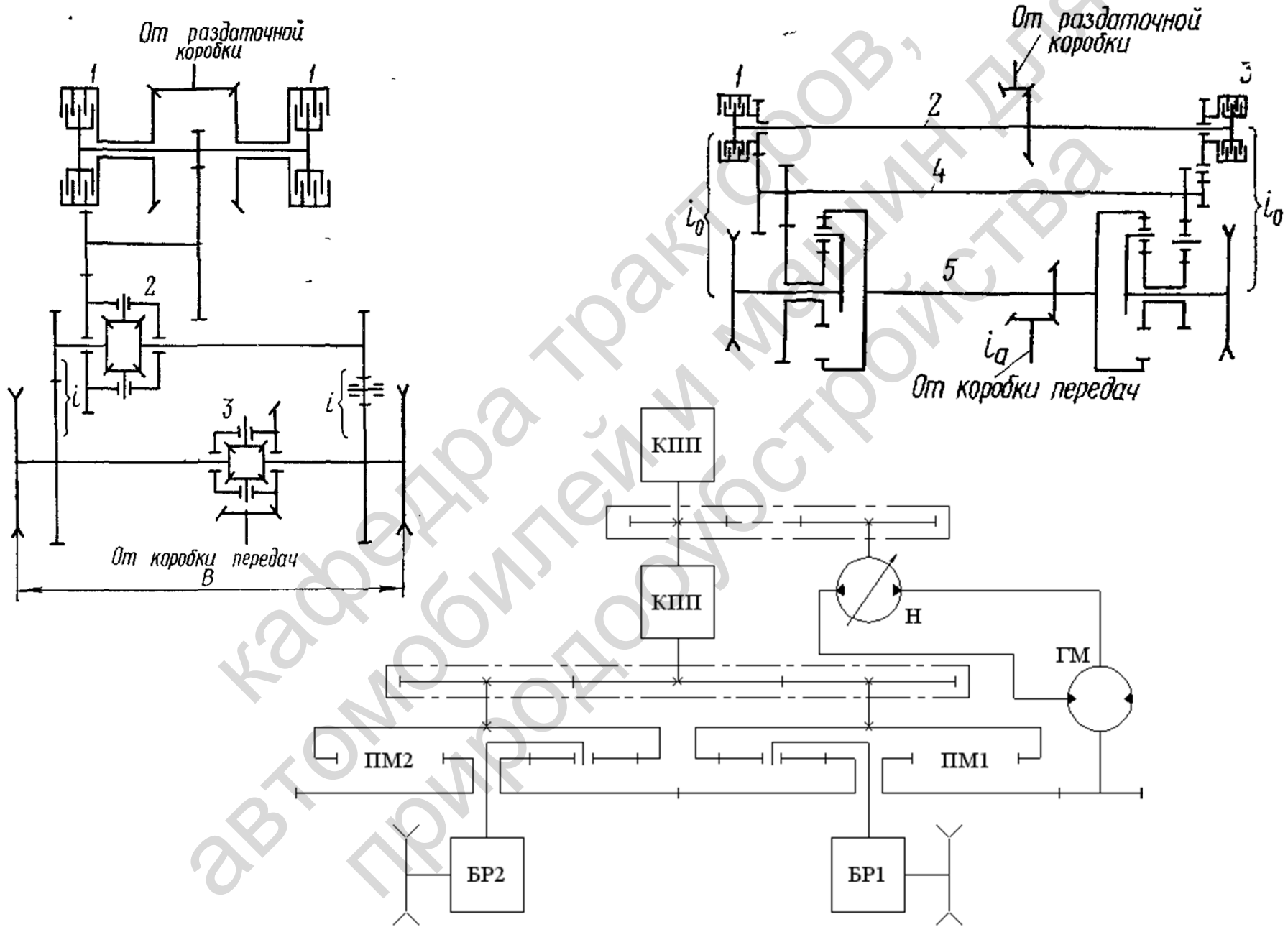
1) $V=V_0$, $V_2>V_0$, $V_1<V_0$. Дифференциальные механизмы поворота с одинарным или двойным дифференциалом

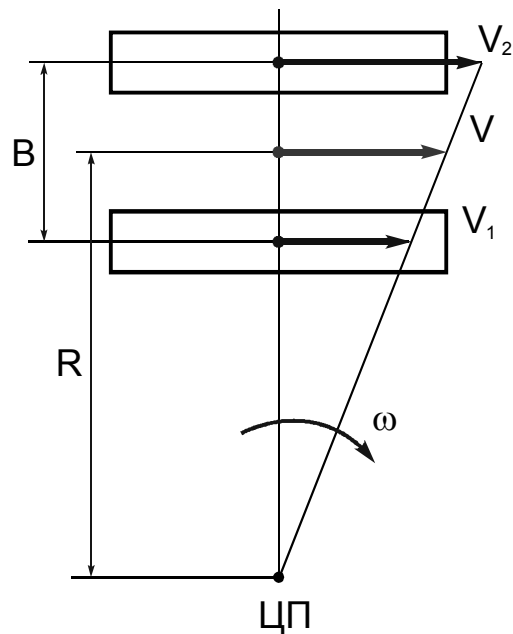


2) $V<V_0$, $V_2=V_0$, $V_1<V_0$. Традиционные планетарные или фрикционные механизмы поворота



3) $V \neq V_0$, $V_2 \neq V_0$, $V_1 \neq V_0$. Комбинированные механизмы поворота (как правило, двухпоточные).





Радиус поворота определится из отношения скоростей движения забегающей и отстающей гусениц

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\omega(R + 0,5B)}{\omega(R - 0,5B)}$$

откуда
$$R = 0,5B \frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}$$

или через частоты вращения ведущих звездочек

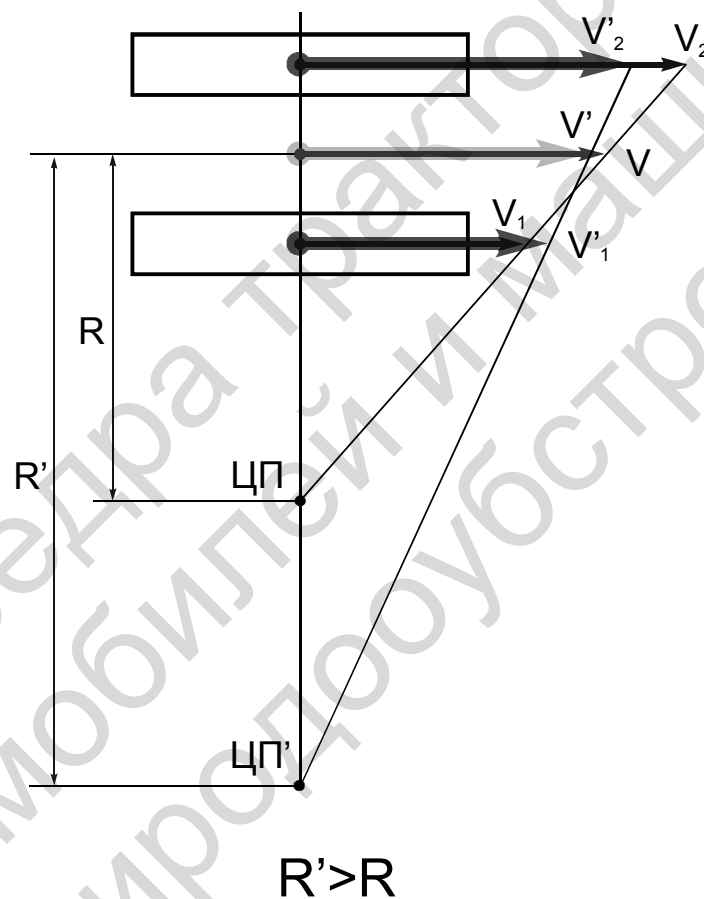
$$R = 0,5B \frac{n_2 + n_1}{n_2 - n_1}$$

Относительный радиус поворота

$$\rho = \frac{R}{B} = 0,5 \frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1} = 0,5 \frac{n_2 + n_1}{n_2 - n_1}$$

Из-за буксования гусениц действительный радиус поворота отличается от теоретического

$$V' < V, \quad V'_2 < V_2, \quad V'_1 > V_1$$

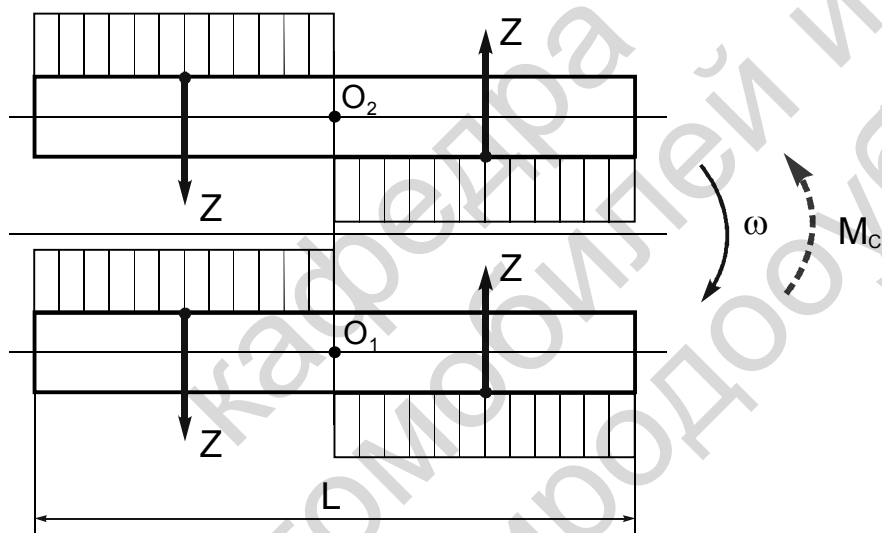


По экспериментальным данным, $R' = (1,4 \dots 1,8)R$

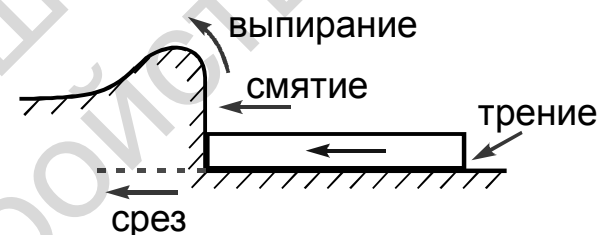
Динамика поворота гусеничных машин

Момент сопротивления повороту

При повороте гусеничной машины на гусеницы действуют боковые реакции почвы, создающие **момент сопротивления повороту**



Момент сопротивления повороту



Боковая реакция почвы

$$Z = \mu \frac{G}{4}$$

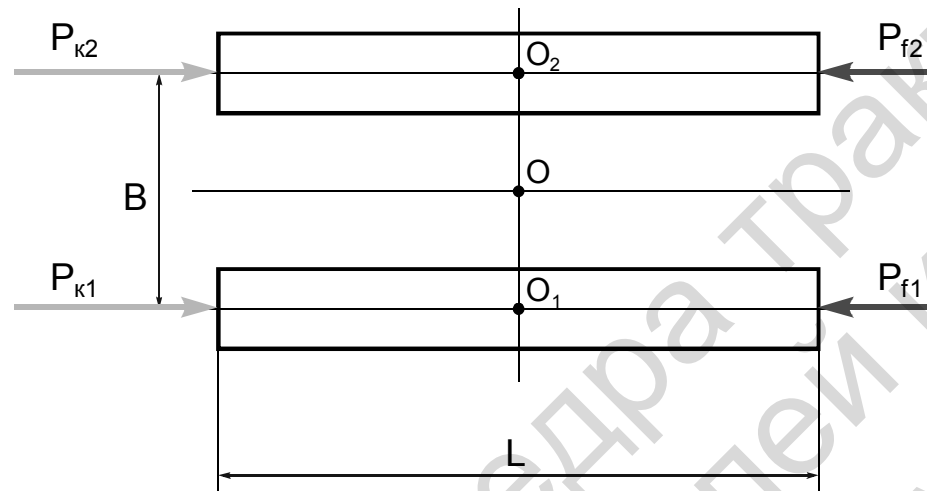
μ – приведенный коэффициент сопротивления повороту

$$M_c = 4Z \frac{L}{4} = 4\mu \frac{G}{4} \frac{L}{4} = \frac{\mu GL}{4}$$

Поворачивающий момент

Для преодоления момента сопротивления повороту необходимо создать **поворачивающий момент $M_{\Pi} = M_c$**

Поворачивающий момент создается за счет **разницы в касательных силах тяги** забегающей и отстающей гусениц



P_{k2}, P_{k1} – касательные силы тяги на забегающей и отстающей гусеницах

P_{f2}, P_{f1} – силы сопротивления качению на забегающей и отстающей гусеницах

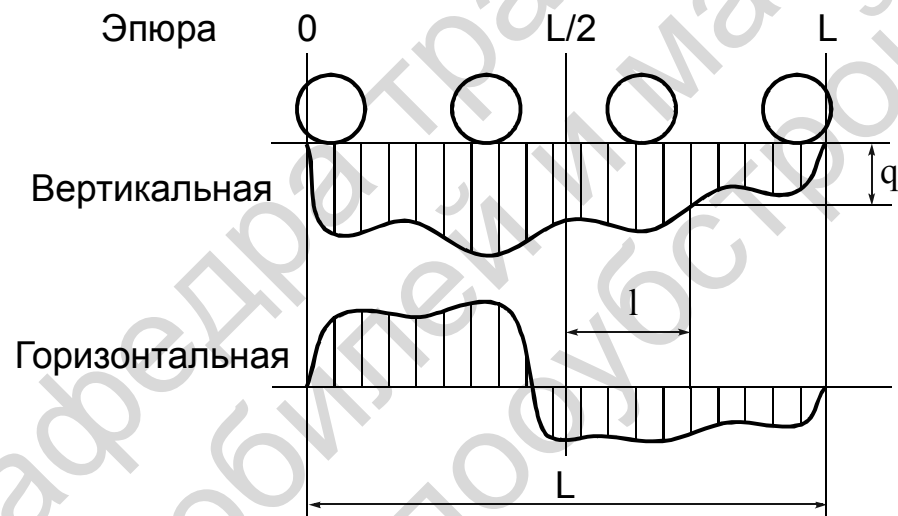
$$\Sigma M_o = 0,5B \cdot P_{k2} - 0,5B \cdot P_{k1} - 0,5B \cdot P_{f2} + 0,5B \cdot P_{f1} - M_c = 0$$

$$M_{\Pi} = 0,5B[(P_{k2} - P_{k1}) - (P_{f2} - P_{f1})]$$

$$P_{f2} = P_{f1} = 0,5fG$$

Поворачивающий момент $M_{\Pi} = 0,5B(P_{k2} - P_{k1})$

Влияние эпюры давления гусеничного движителя на момент сопротивления повороту



Момент сопротивления повороту

$$M_c = 2 \int_0^{L/2} \mu q b l dl + 2 \int_{L/2}^L \mu q b l dl$$

μ – приведенный коэффициент сопротивления повороту

q – давление гусеничного движителя

b – ширина гусеницы

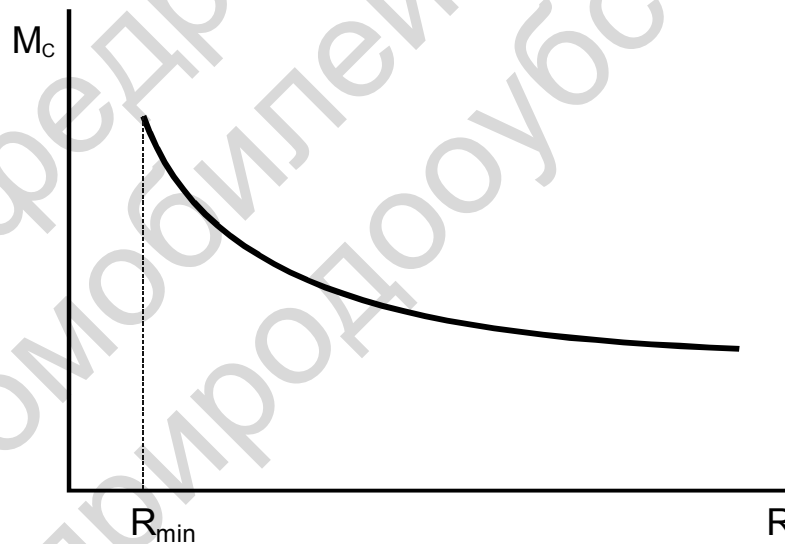
Приведенный коэффициент сопротивления повороту μ зависит от относительного радиуса поворота ρ

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{a + (1 - a)(\rho + 0,5)}$$

μ_{\max} – максимальный приведенный коэффициент сопротивления повороту (при минимальном радиусе поворота R_{\min})

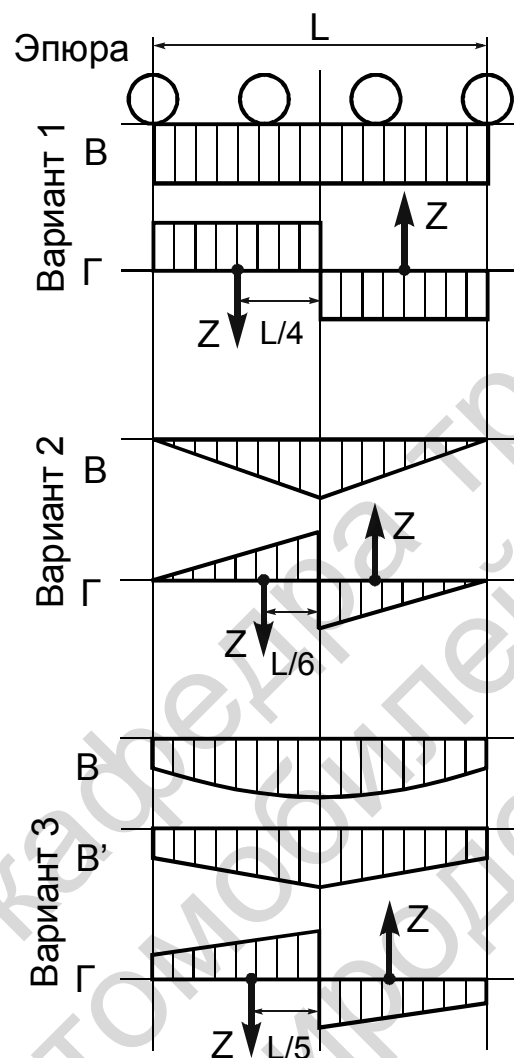
В зависимости от почвенных условий μ_{\max} принимает значение от 0,4 (твердая грунтовая дорога) до 0,7 (рыхлая почва)

a – коэффициент. В зависимости от почвенных условий $a=0,75...0.9$



Зависимость момента сопротивления повороту от радиуса поворота

Момент сопротивления повороту зависит от формы эпюры давления



$$M_c = \frac{\mu GL}{4}$$

$$M_c = \frac{\mu GL}{6}$$

$$\frac{\mu GL}{6} < M_c < \frac{\mu GL}{4}$$

$$M_c \approx \frac{\mu GL}{5}$$

автомобилей и машин для
применения