

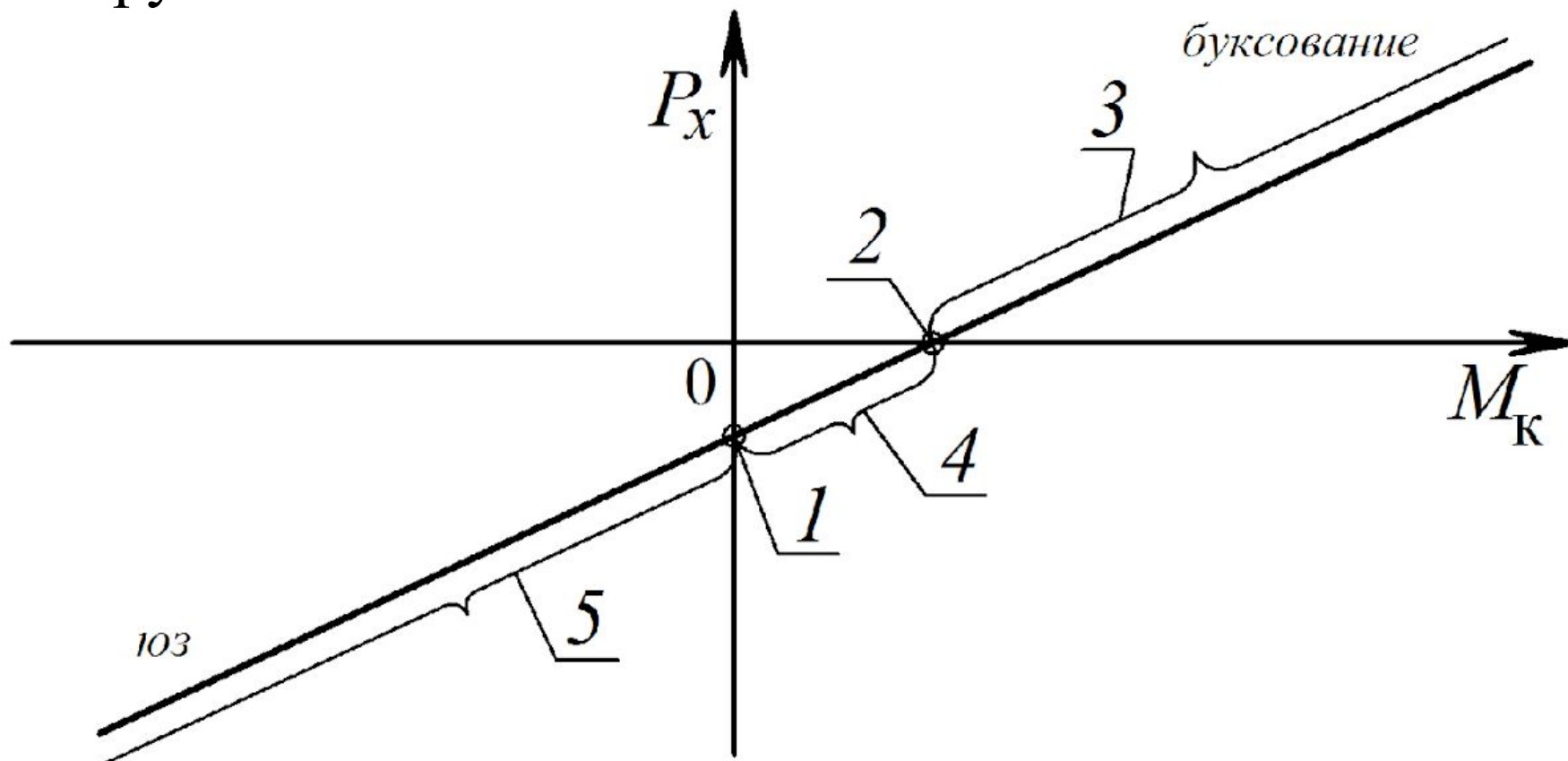
Слайды к лекциям по курсу

**ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ
ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН**

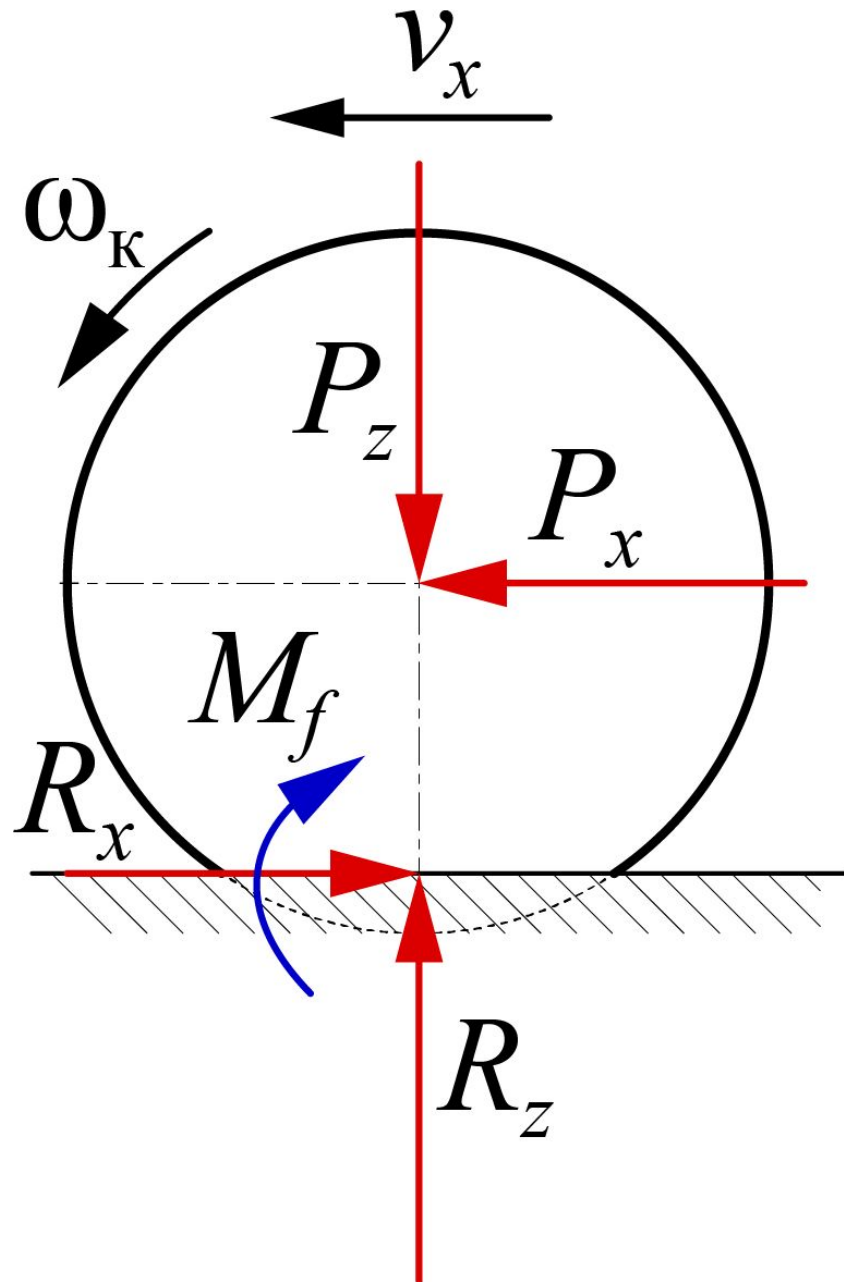
Лекция 2

Режимы силового нагружения

В зависимости от направления продольной силы P_x и крутящего момента M_K , действующих на колесо принято различать различные режимы силового нагружения.

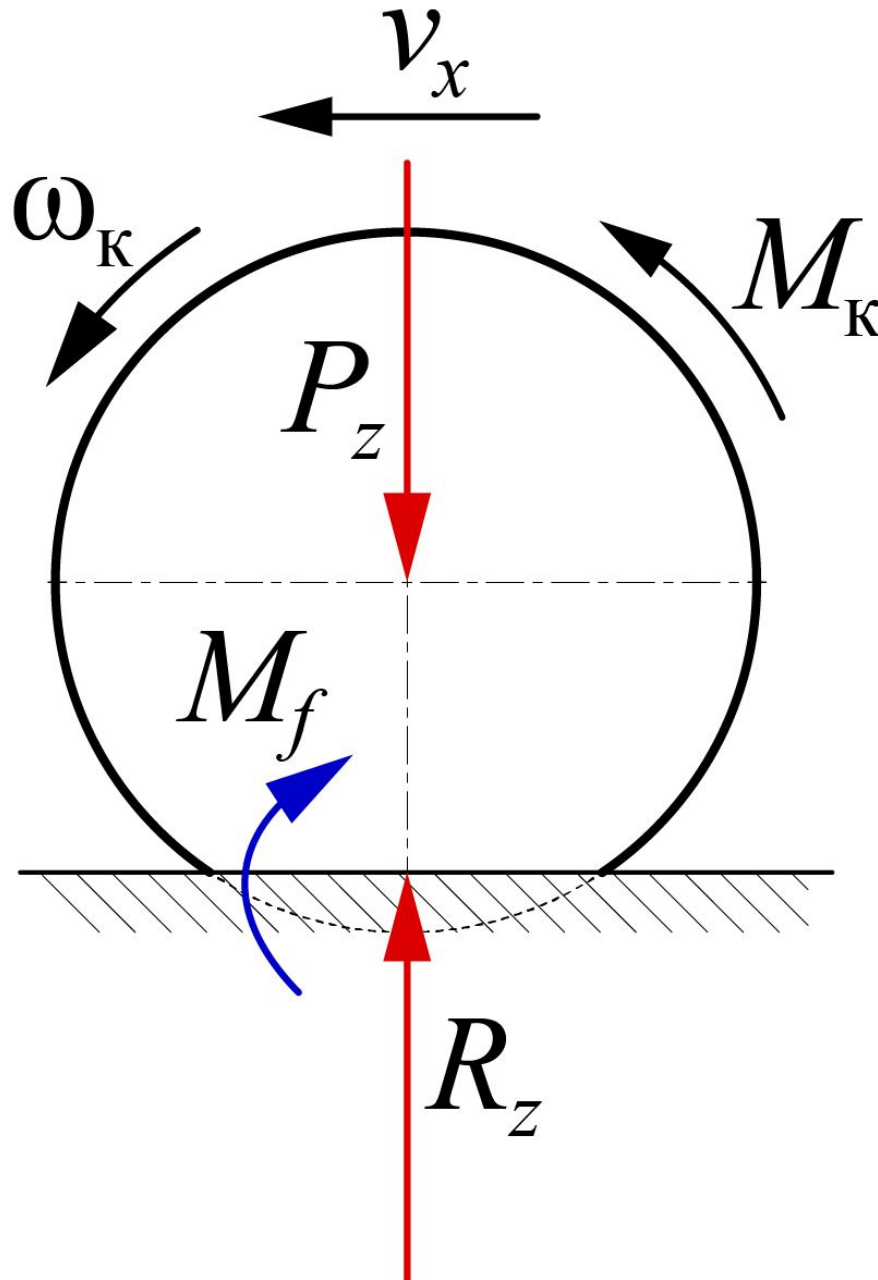


Ведомый режим



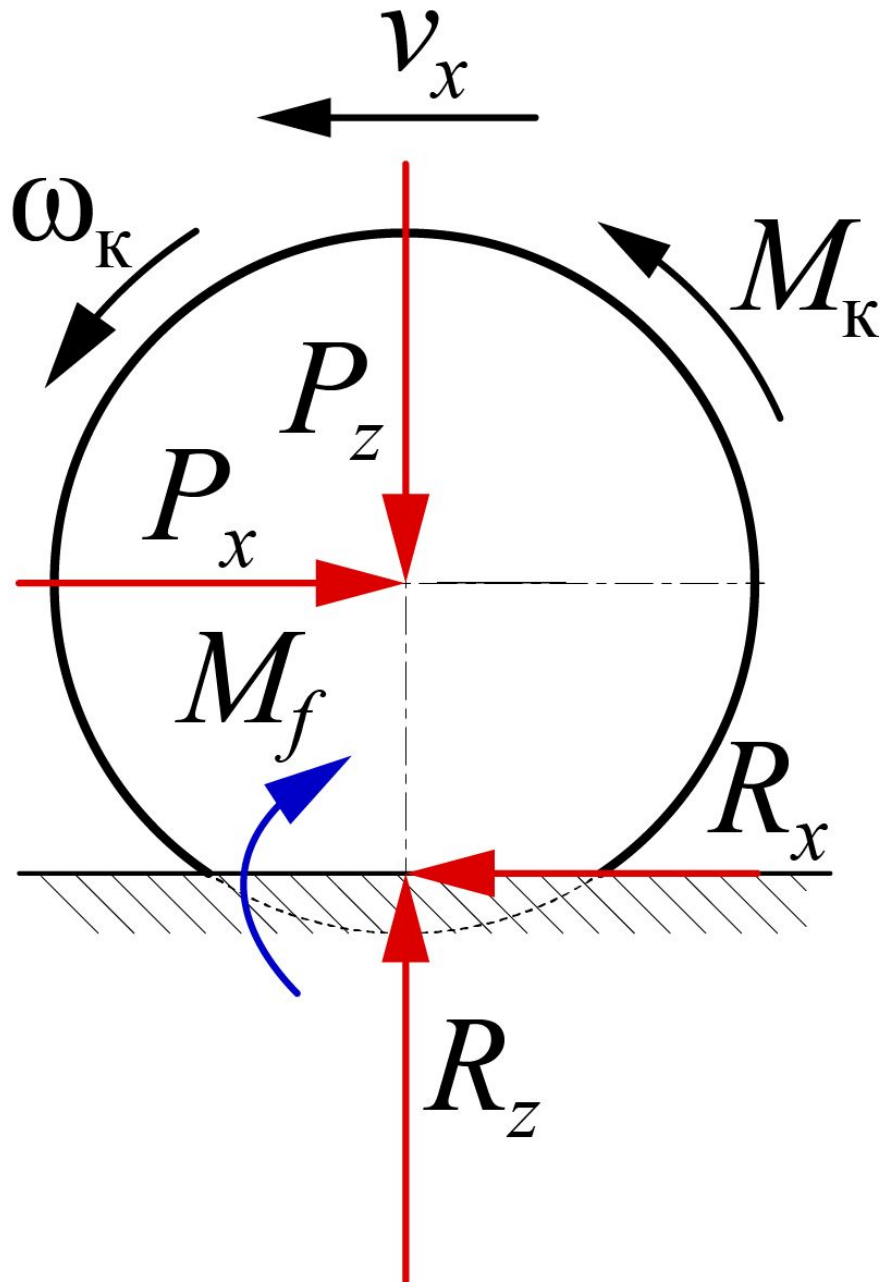
$$M_K = 0$$
$$P_x < 0$$

Свободный режим



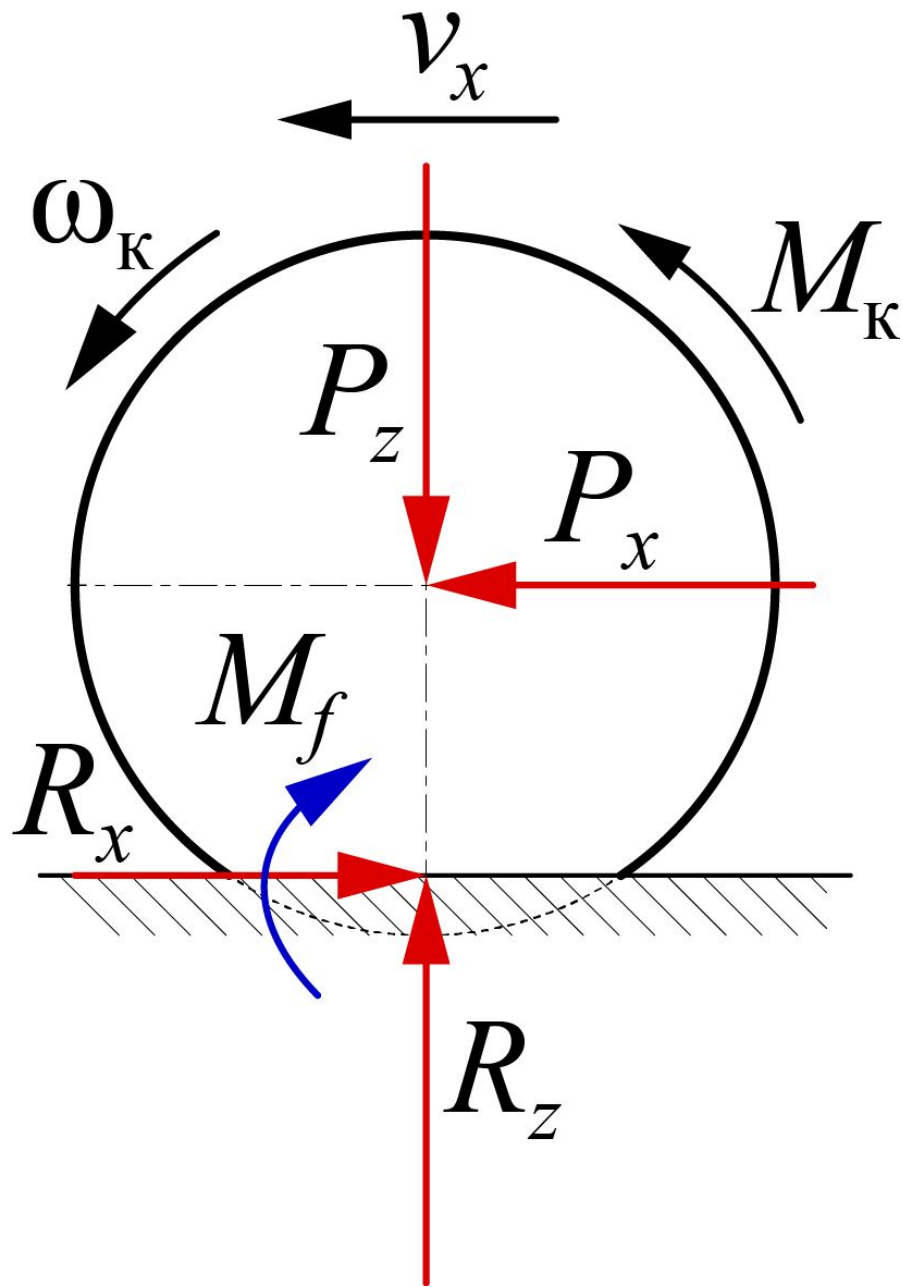
$$M_K > 0$$
$$P_x = 0$$

Ведущий режим



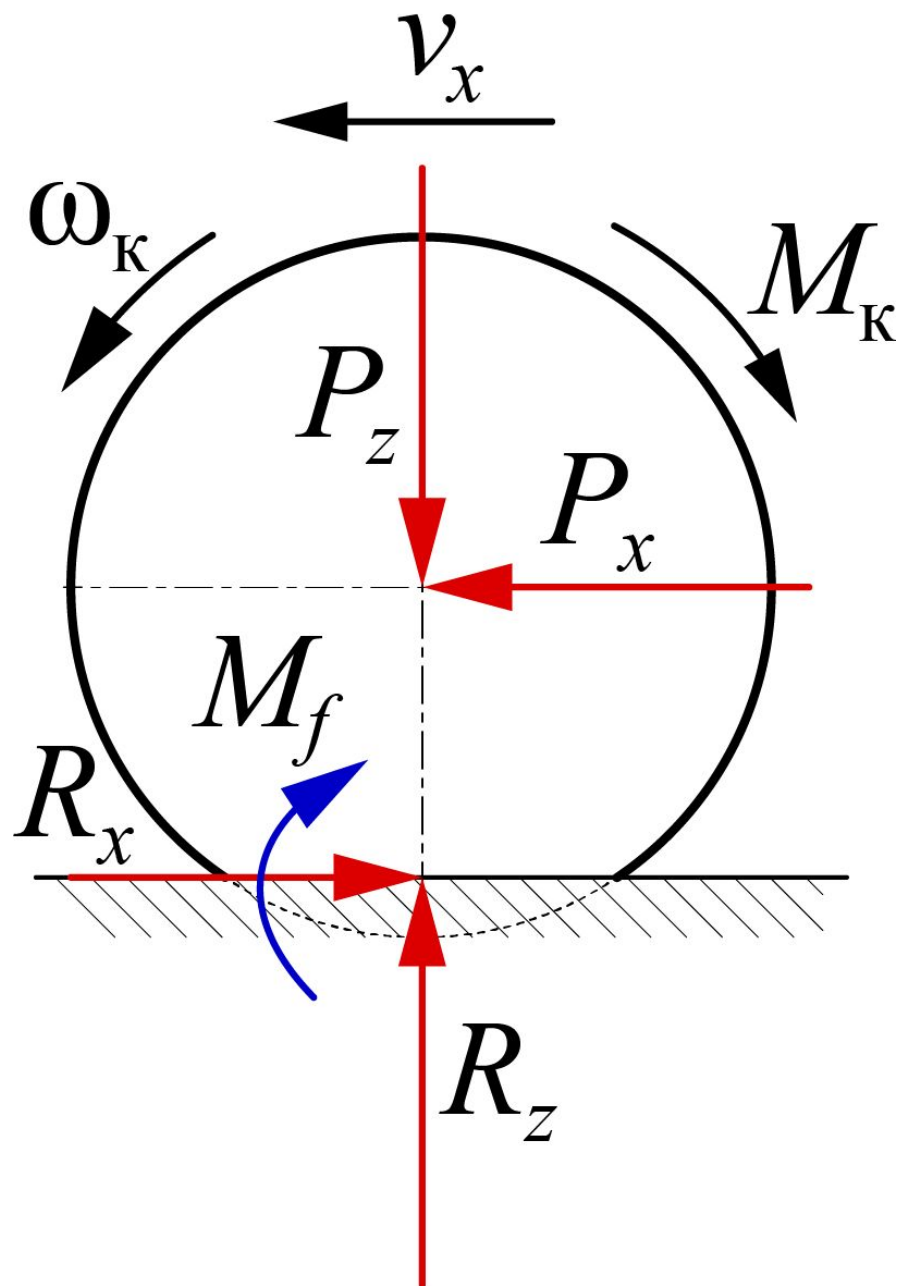
$$M_K > 0$$
$$P_x > 0$$

Нейтральный режим



$$M_K > 0$$
$$P_x < 0$$

Тормозной режим



$$M_K < 0$$
$$P_x < 0$$

Кинематические параметры колеса

Для записи уравнений и описания движения колеса используют следующие понятия о его радиусах и скоростях.

1. **Свободный радиус $r_{\text{св}}$** колеса равен половине диаметра наибольшего окружного сечения беговой дорожки колеса при отсутствии его контакта с опорной поверхностью.

$$r_{\text{св}} = \frac{L_{\text{б.д.}}}{2 \cdot \pi}$$

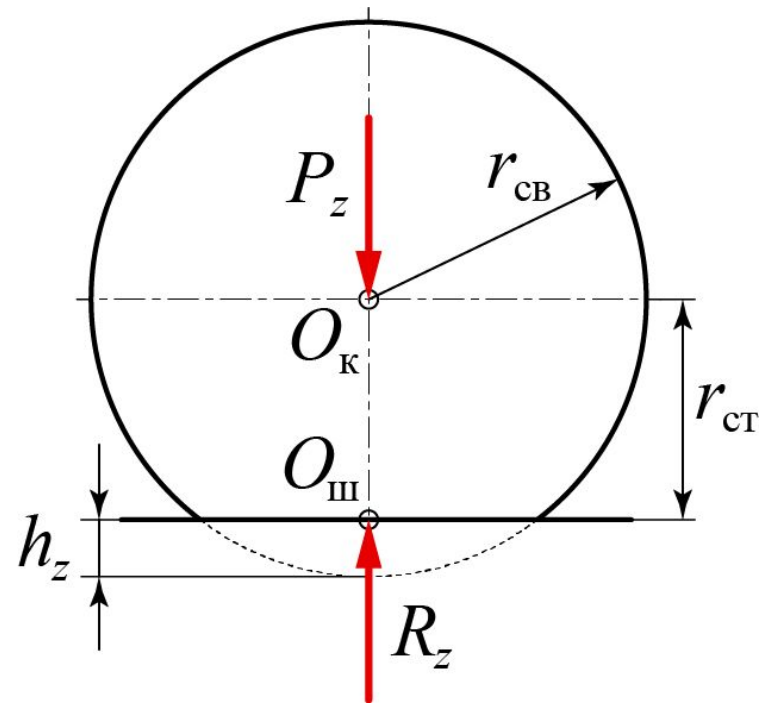
$L_{\text{б.д.}}$ – длина наибольшей окружности беговой дорожки шины.

Кинематические параметры колеса

2. Статический радиус $r_{ст}$ колеса – это расстояние от центра неподвижного колеса ($\omega_k = 0$, $v_{кx} = 0$), на которое действует только нормальная сила $P_z > 0$, до опорной поверхности. Он определяется нормальной деформацией шины h_z :

$$r_{ст} = r_{св} - h_z$$

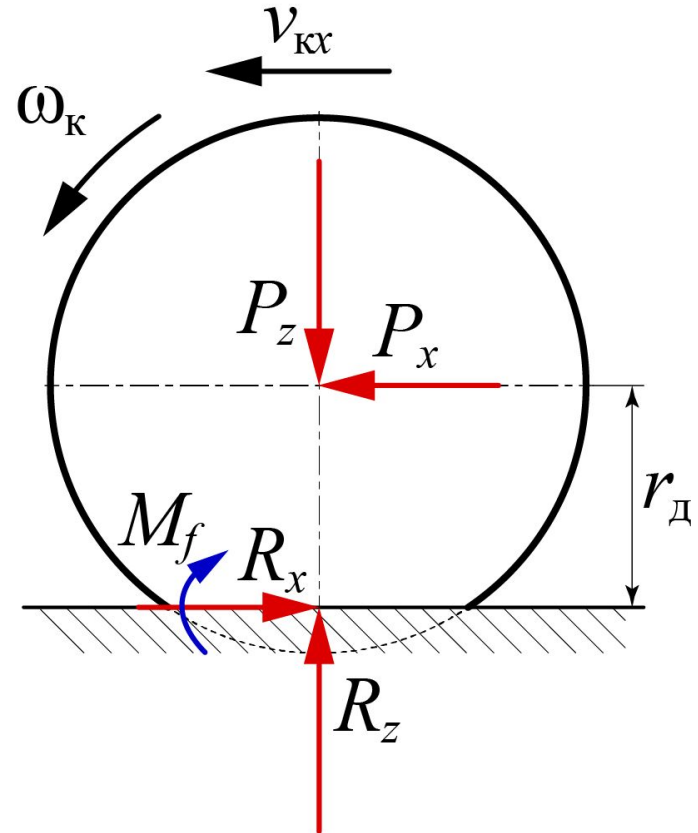
h_z – нормальная деформация (прогиб) шины.



Кинематические параметры колеса

3. Динамический радиус

$r_{\text{д}}$ колеса – это расстояние от центра движущегося колеса до опорной поверхности.



Этот радиус незначительно отличается от $r_{\text{ст}}$ и зависит от режима силового нагружения и скорости движения.

Кинематические параметры колеса

4. Кинематический радиус колеса (радиус качения)

r_k — это чисто математическая величина, определяющая радиус условного жесткого колеса, которое за один оборот проходит путь, равный пути, проходимому эластичным колесом:

$$r_k = \frac{v_{kx}}{\omega_k}$$

Значение r_k зависит от тангенциальной силы P_x , крутящего момента M_k , упругой деформации беговой дорожки шины и ее **скольжения** относительно опорной поверхности.

Радиус качения

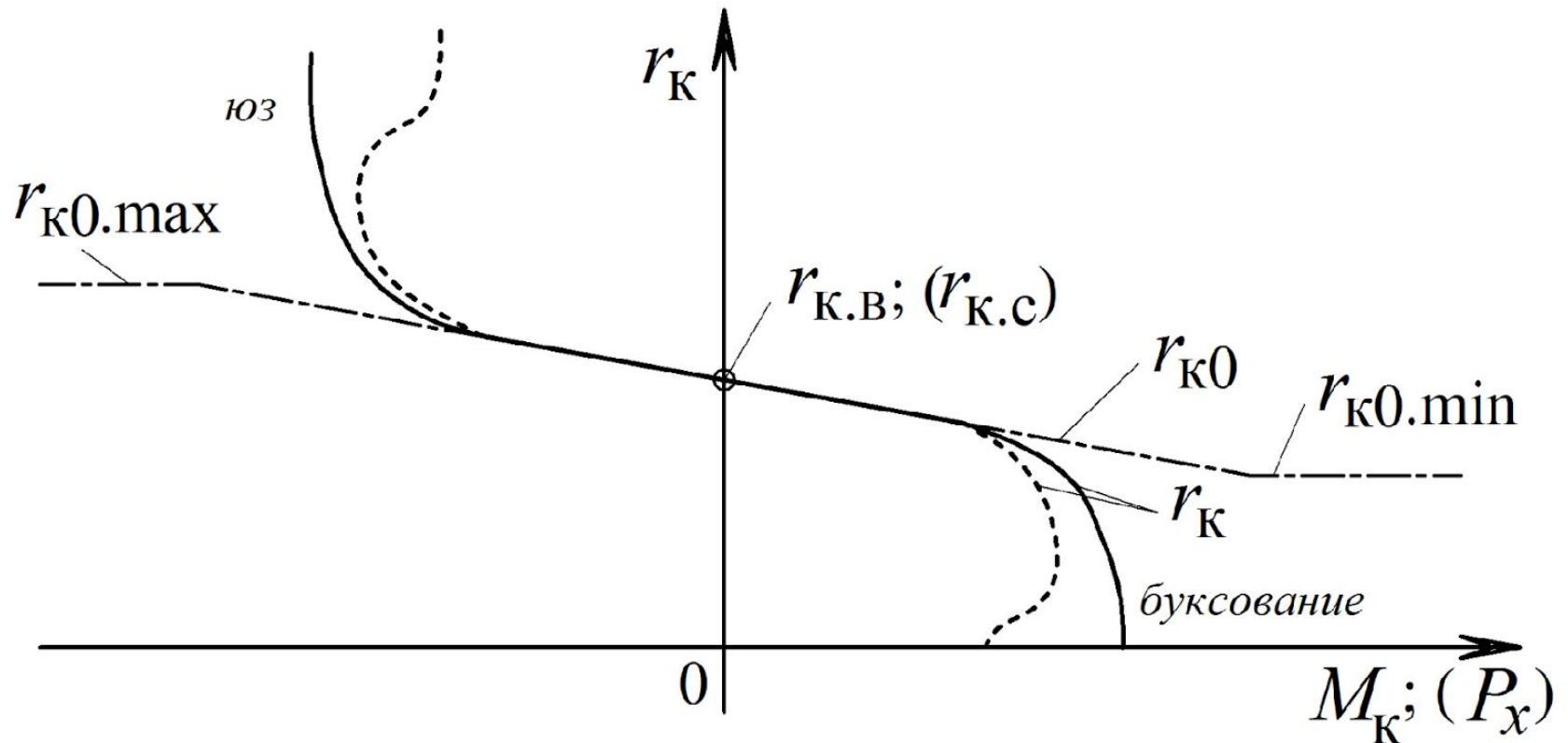
$$r_k = \frac{v_{kx}}{\omega_k}$$

Необходимость в таком радиусе объясняется тем, что вследствие тангенциальной эластичности и проскальзывания отдельных элементов путь S , проходимый колесом за n его оборотов, не равен произведению величины $2\pi n$ на радиус r_d .

Путь колеса будет равен произведению $2\pi n$ на r_k .

Радиус качения обычно определяют экспериментально путем замера пройденного колесом пути S за n его оборотов.

При положительных значениях M_K и P_x часть шины, приближающаяся к зоне контакта, сжимается и длина окружности беговой дорожки уменьшается, а при отрицательных значениях M_K и P_x эта часть шины растягивается и длина беговой дорожки увеличивается.



При малых значениях M_k и P_x интегральное значение скорости скольжения v_s в пятне контакта близко к нулю и изменение радиуса качения определяется только упругой окружной деформацией беговой дорожки. Для большинства шин изменение r_k от силовых параметров близко к линейной зависимости.

Эту упругую деформацию иногда называют упругим скольжением. Изменение r_k при отсутствии непосредственного скольжения ($v_s = 0$) определяется радиусом чистого качения r_{k0} .

r_{k0} — радиус качения колеса без скольжения (или радиус чистого качения), присутствует только «упругое скольжение».

Базовыми точками при определении $r_{к0}$ являются значения радиуса $r_{кв}$ в ведомом режиме качения ($M_k = 0$) и $r_{ксв}$ – в свободном режиме качения ($P_x = 0$).

Для описания изменения $r_{к0}$ используют линейные зависимости:

$$r_{к0} = r_{кв} - \lambda_M \cdot M_k$$

$$r_{к0} = r_{ксв} - \lambda_P \cdot P_x$$

λ_M , – коэф. тангенциальной эластичности по моменту;

λ_P , – коэф. тангенциальной эластичности по силе.

Базовыми точками при определении $r_{к0}$ являются значения радиуса $r_{кв}$ в ведомом режиме качения ($M_k = 0$) и $r_{ксв}$ – в свободном режиме качения ($P_x = 0$).

Для описания изменения $r_{к0}$ используют линейные зависимости:

$$r_{к0} = r_{кв} - \lambda_M \cdot M_k$$

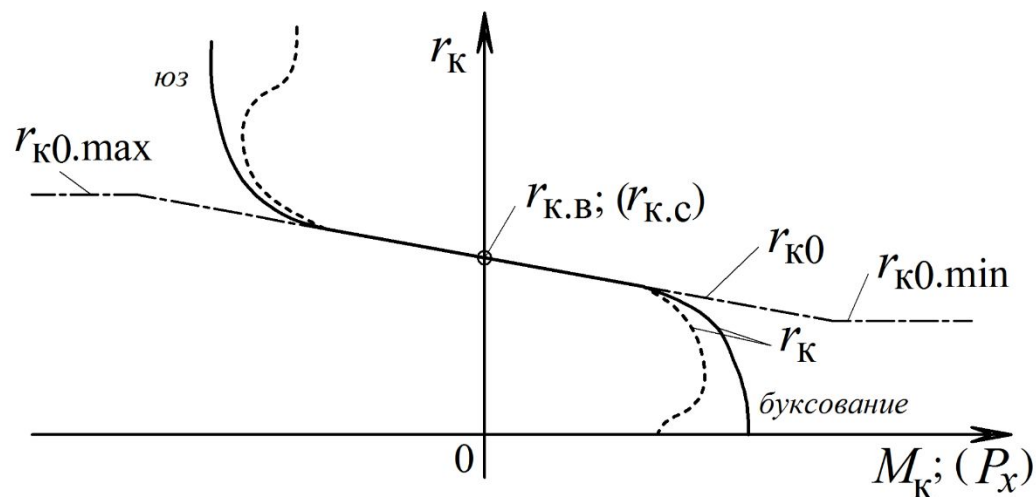
$$r_{к0} = r_{ксв} - \lambda_P \cdot P_x$$

λ_M , – коэф. тангенциальной эластичности по моменту;

λ_P , – коэф. тангенциальной эластичности по силе.

Значения $r_{к0}$ ограничиваются возможностью максимального сжатия и растяжения беговой дорожки шины.

При интенсивном скольжении (неупругом) характер изменения $r_{к}$ нелинейный и зависит в основном от взаимодействия беговой дорожки с опорной поверхностью (сплошные и пунктирные кривые на рисунке) элементарных скоростей и касательных сил в зоне контакта.



При качении эластичного колеса скорости скольжения отдельных элементов беговой дорожки относительно опорной поверхности в зоне контакта различны.

В дальнейшем будем рассматривать условную усредненную для всего контакта скорость скольжения контакта шины относительно опорной поверхности - v_s .

Каждая точка на окружности с радиусом $r_{к0}$ движется относительно центра т. O_K с относительной скоростью $v_{отн}$ и переносной $v_{кx}$ относительно опорной поверхности, определяемой действительным радиусом качения:

$$v_{кx} = r_K \cdot \omega_K$$

Абсолютная скорость точек равна сумме векторов переносной и относительной скоростей.

$$\vec{v}_{кx} + \vec{v}_{отн}$$

Точку O , в которой абсолютная скорость равна нулю, принято называть мгновенным центром вращения колеса.

Скорость скольжения определяется выражением

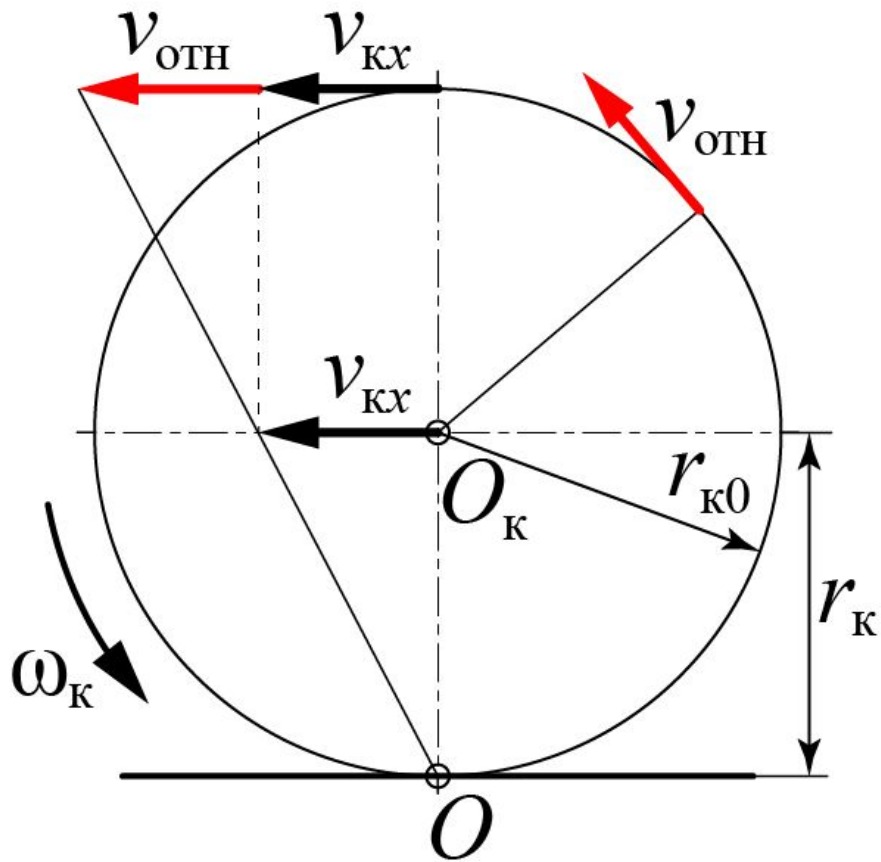
$$v_s = v_{\text{отн}} - v_{\text{кx}}$$

Скольжение колеса принято оценивать коэффициентом продольного скольжения:

$$S_{\text{бj}} = \frac{v_s}{v_{\text{отн}}} = 1 - \frac{v_{\text{кx}}}{v_{\text{отн}}} = 1 - \frac{r_{\text{к}}}{r_{\text{к0}}}$$

Возможны три случая качения колеса.

Чистое качение колеса

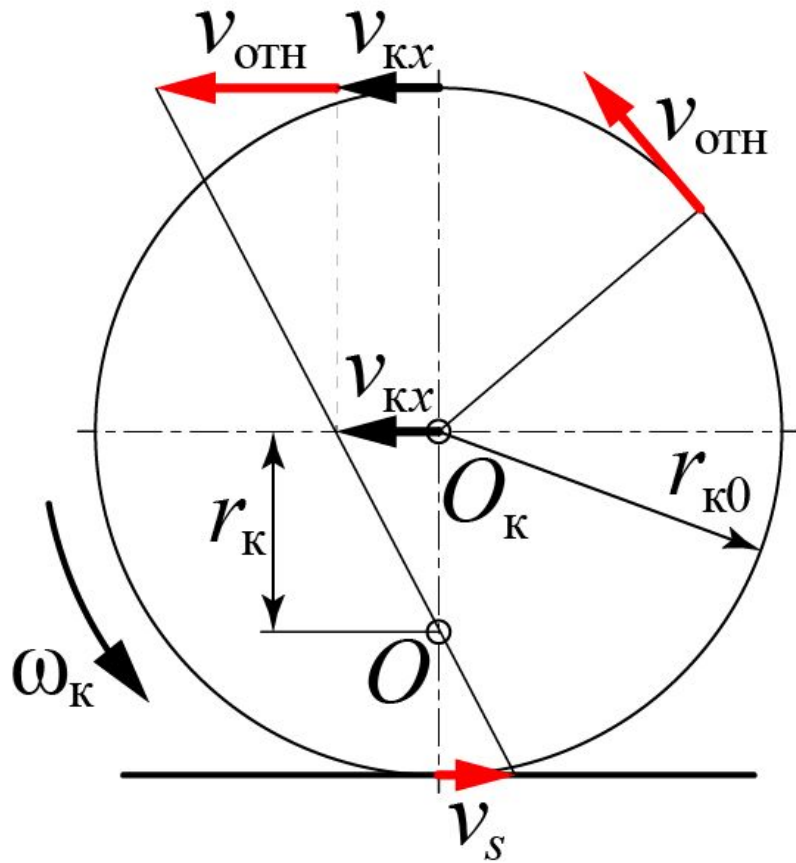


Мгновенный центр вращения т. O совпадает с центром контакта т. O_{III} .

$$v_s = 0$$

$$S_{\delta j} = 0$$

Буксование колеса

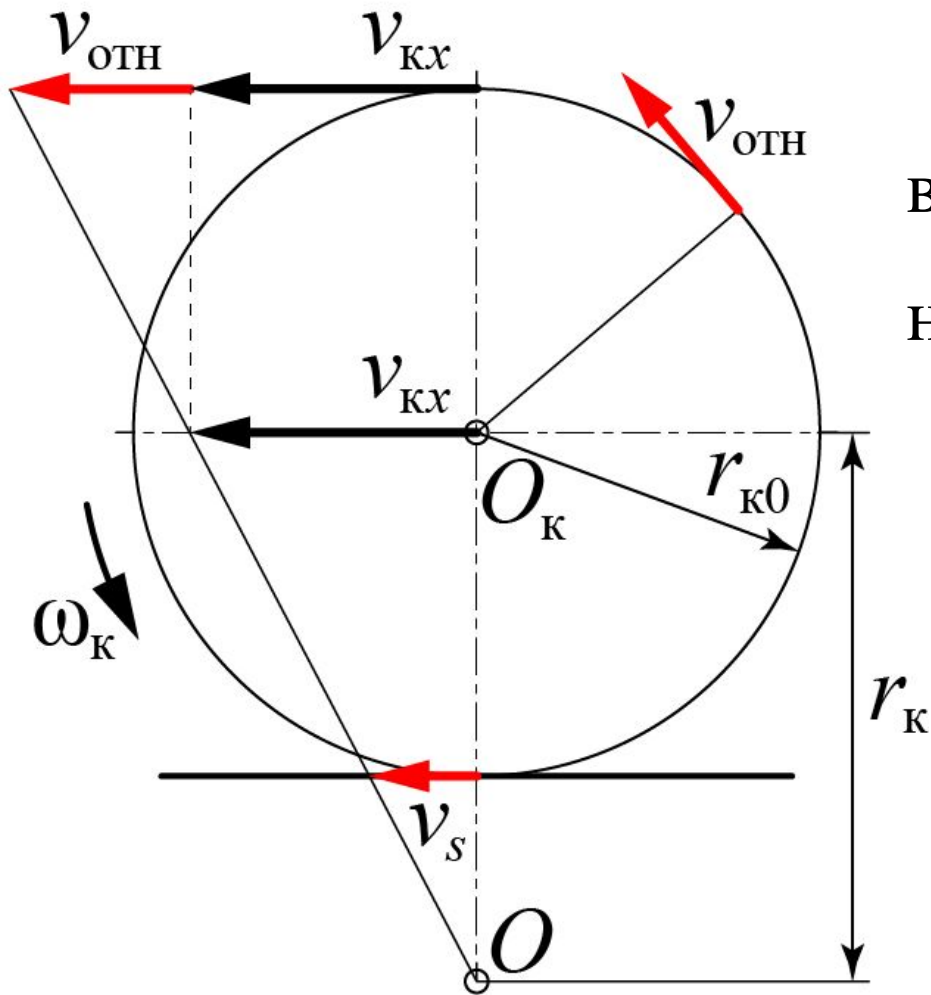


Мгновенный центр
вращения т. O находится
выше центра контакта т. $O_{ш}$.

$$v_s > 0$$

$$0 < S_{\delta j} \leq 1$$

Юз колеса



Мгновенный центр вращения т. O находится ниже центра контакта т. $O_{ш}$.

$$v_s < 0$$

$$-\infty \leq S_{\bar{b}j} < 0$$

Радиус качения определяется по уравнению:

$$r_{\text{к}} = r_{\text{к0}} \cdot (1 - S_{\bar{\sigma}j})$$

При этом учитывается только непосредственное скольжение и $r_{\text{к}}$ может быть получен при известной величине $r_{\text{к0}}$.

Величина $r_{\text{к0}}$ зависит от вертикальной нагрузки на колесо P_z , продольной силы P_x и давления воздуха в шинах p_w

$$r_{\text{к0}} = f(P_z, P_x, M_{\text{к}}, p_w)$$

Определение $r_{\text{к0}}$ в большинстве случаев достаточно трудоемко.

Поэтому рассматриваются три коэффициента продольного скольжения:

Общий (суммарный)

$$S_{\bar{\sigma}\Sigma} = 1 - \frac{r_K}{r_{CB}}$$

Упругий

(учитывает только упругие деформации)

$$S_{\bar{\sigma}y} = 1 - \frac{r_{K0}}{r_{CB}}$$

Сдвиговый

(непосредственного скольжения)

$$S_{\bar{\sigma}j} = 1 - \frac{r_K}{r_{K0}}$$