

Слайды к лекциям по курсу

**ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ
ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН**

Лекция 9

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

В сложной динамической системе колесной машины крутящие моменты на всех валах и колесах непрерывно изменяются. Это объясняется не только многообразием процессов и связей, имеющихся в самой КМ, но и влиянием переменных внешних условий, на которые автоматически или по воле водителя она реагирует.

Однако при относительно постоянных условиях, например при движении КМ с постоянной скоростью по ровной ОП, изменение крутящих моментов невелико (средние квадратичные отклонения моментов M_k на колесах не превышает 15...20% от их средней величины).

В механической трансмиссии поток мощности передается к колесам через узлы разветвления, в которых могут изменяться значения моментов и угловых скоростей на выходных валах по сравнению с параметрами входного вала.

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

В КМ наибольшее распространение получили узлы, обеспечивающие следующие виды связей:

- блокированная связь;
- дифференциальная связь;
- связь через муфты свободного хода.

Узлы разветвления трансмиссии

```
graph TD; A[Узлы разветвления трансмиссии] --> B[Блокированная связь]; A --> C[Дифференциальная связь]; A --> D[Связь через муфты свободного хода];
```

Блокированная
связь

Дифференциальная
связь

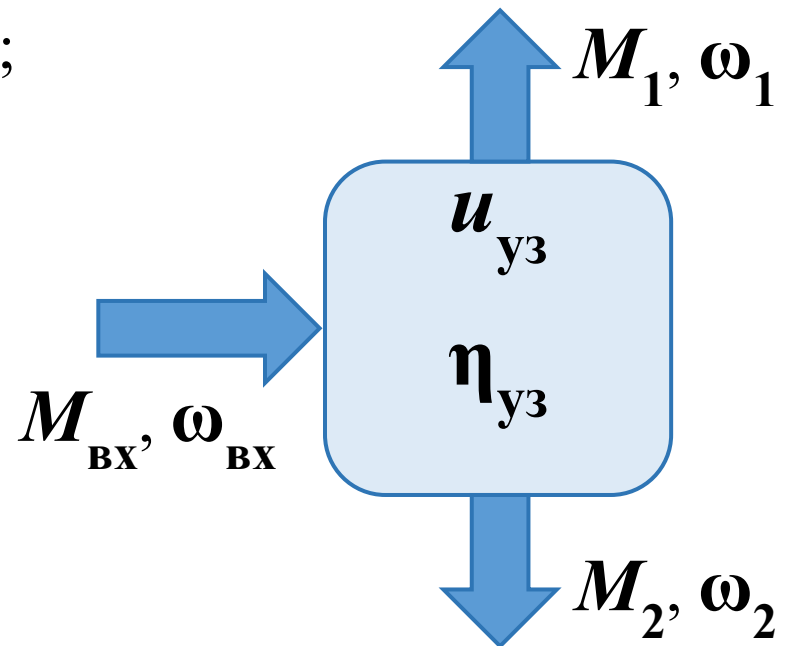
Связь через
муфты свободного
хода

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

Обозначим параметры входного вала в узле разветвления $M_{\text{вх}}$ и $\omega_{\text{вх}}$, а двух выходных валов – M_i и ω_i . Общие уравнения для узла имеют вид:

$$M_{\text{вх}} = \frac{M_1 + M_2}{\eta_{\text{уз}} \cdot u_{\text{уз}}} \quad \omega_{\text{вх}} = \frac{(\omega_{\text{уз}} + \omega_2) \cdot u}{2}$$

где $u_{\text{уз}}$ – передаточном числе узла;
 $\eta_{\text{уз}}$ – КПД узла.



Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

Блокированная связь

При $u_{уз} = 1$ и $u_{12} = 1$ все угловые скорости равны: $\omega_{вх} = \omega_1 = \omega_2$

В случае блокированной связи при отсутствии механизма, изменяющего отношение угловых скоростей выходных валов ($u_{12} = 1$), должно выполняться условие $\omega_1 = \omega_2$.

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

Дифференциальная связь с коэффициентом блокировки $k_{\text{бл}}$

После достижения отношения моментов на выходных валах, равного коэффициенту блокировки дифференциала:

$$k_{\text{бл}} = \frac{M_2}{M_1 \cdot u_{12}}$$

должны выполняться условия

$$M_1 = \frac{M_{\text{вх}} \cdot u_{\text{уз}} \cdot \eta_{\text{уз}}}{k_{\text{бл}} + 1} \quad M_2 = \frac{k_{\text{бл}} \cdot u_{12} \cdot M_{\text{вх}} \cdot u_{\text{уз}} \cdot \eta_{\text{уз}}}{k_{\text{бл}} + 1}$$

Если $M_2/M_1 < k_{\text{бл}}$, то узел ведет себя как заблокированная связь, дифференциальные свойства проявляются только при $M_2/M_1 > k_{\text{бл}}$.

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

Связь через муфты свободного хода

При одинаковых знаках выходных моментов ($M_2/M_1 > 0$) узел ведет себя как блокированная связь.

В случае если один из моментов становится отрицательным, то весь момент $M_{\text{вх}}$ поступает на другой вал, а вал с отрицательным значением момента отключается.

$$M_{\text{вх}} = M_{\text{у3}} \cdot u_{\text{у3}} \cdot \eta$$

$$M_2 = 0$$

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

На автомобилях с одной ведущей осью, как правило, устанавливают симметричный дифференциал с передаточным числом между валами $u_{12} = 1$, а также коэффициентом блокировки, близким к 1.

В таком случае, моменты на колесах правого и левого бортов практически равны ($M_{к1} \approx M_{к2}$), и при прямолинейном движении можно говорить о равенстве окружных сил на колесах.

В ведомом режиме радиусы качения колес бортов оси и их окружные силы $P_{к} = M_{к} / r_{к0}$ обычно различаются не более чем на 2...3 %.

Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

В многоприводных КМ возможно много вариантов схем трансмиссий, которые приводят к различному распределению моментов и сил.

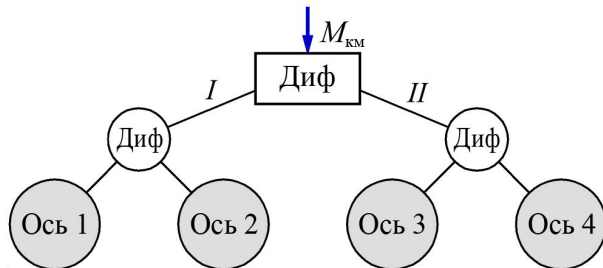
Предполагая, что при прямолинейном движении условия взаимодействия колес бортов оси с опорной поверхностью и их характеристики одинаковы $M_{к1} = M_{к2}$, рассмотрим лишь влияние межосевого привода на распределение моментов и сил.

Проведем оценку распределения мощности на примере прямолинейного движения и деления момента между мостами (не рассматривая бортовые связи).

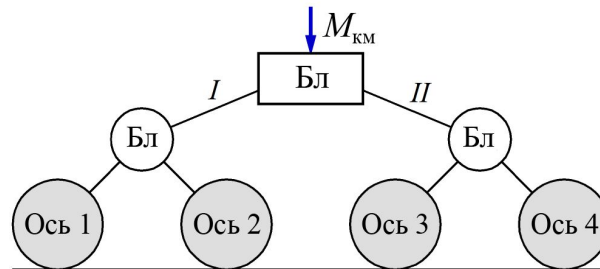
Распределение крутящих моментов и окружных сил по колесам

Можно выделить три схемы трансмиссии

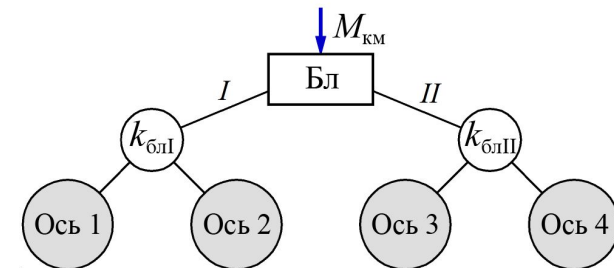
Дифференциальная
трансмиссия



Блокированная
трансмиссия



Смешанная
трансмиссия
(дифференциально-
блокированная)



Дифференциальная трансмиссия

В соответствии с характеристиками дифференциалов возможны следующие варианты:

1. Во всех узлах разветвлений установлены симметричные дифференциалы $u_{12} = 1$ с $k_{\text{бл}} = 1$ или в некоторых узлах установлены несимметричные дифференциалы $u_{12} \neq 1$ с $k_{\text{бл}} =$

1. Например, на трехосной КМ момент $M_{\text{вх}}$, поступающий на раздаточную коробку, распределяется в соотношении:

1/3 от $M_{\text{вх}}$ на первую ось;

2/3 от $M_{\text{вх}}$ на заднюю тележку с двумя осями,

т. е. передаточное число между ними $u_{1-23} = 2$.

Тогда крутящие моменты на всех колесах одинаковы:

$$M_{ki} = M_k = \text{const.}$$

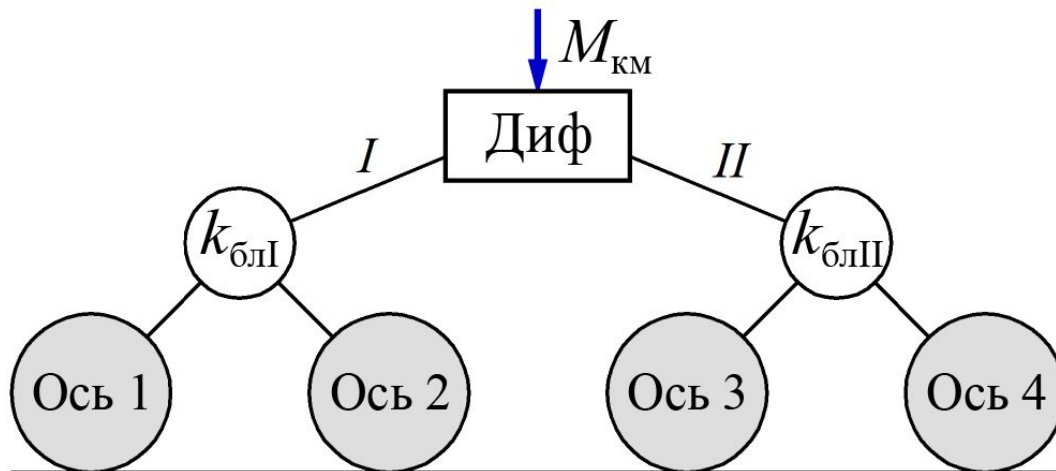
В этом случае КМ имеет полностью дифференциальную схему трансмиссии с $k_{\text{бл}} = 1$.

Дифференциальная трансмиссия

2. В узлах разветвления установлены самоблокирующиеся дифференциалы с $k_{\text{бл}} \neq 1$. В этом случае отношение моментов изменяется в зависимости от коэффициента $k_{\text{бл}}$, однако до достижения отношения моментов

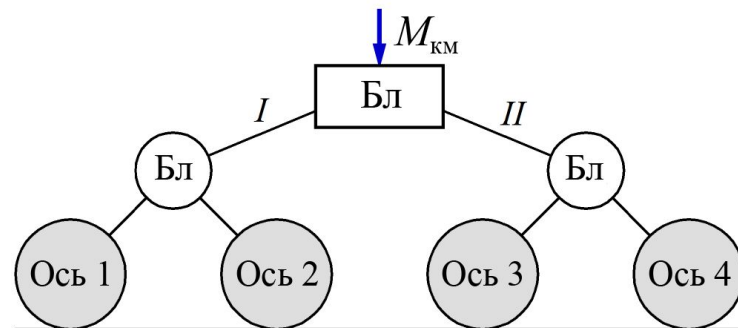
$$\frac{M_2}{M_1 \cdot u_{12}} = k_{\text{бл}}$$

дифференциальные связи ведут себя как заблокированные.



Блокированная трансмиссия

Полностью блокированная трансмиссия обеспечивает равенство угловых скоростей колес



$$\omega_{ki} = \omega_k = \text{const.}$$

При установленном прямолинейном движении КМ линейные скорости колес всех осей равны между собой:

$$v_{kxi} = v_{mx} = \text{const.}$$

Тогда при различных радиусах качения колес в ведомом режиме r_{kvi} и коэффициентах тангенциальной эластичности λ_{Mi} обусловленных допуском на изготовление шин, различным давлением воздуха P_{wi} и нормальной нагрузкой P_{zi} , радиусы качения колес должны выравниваться:

$$r_{ki} = \frac{v_{kxi}}{\omega_{ki}}$$

Блокированная трансмиссия

При прямолинейном движении по твердой ОП суммарное сопротивление движению невелико, продольные реакции и моменты на колесах также малы и непосредственное их скольжение отсутствует. В этом случае изменение радиуса качения подчиняется линейному закону

$$r_{\text{к}} = r_{\text{к0}} = r_{\text{кв}} - \lambda_{\text{М}} M_{\text{к}} = \text{const.}$$

Моменты на колесах определяются выражением:

$$M_{\text{ки}} = \frac{r_{\text{кв}i} - r_{\text{к0}}}{\lambda_{\text{Mi}}} \quad (*)$$

Блокированная трансмиссия

Приравняв сумму моментов M_{ki} к суммарному моменту $M_{кМ}$, поступающему на колеса КМ, и решив полученное уравнение относительно радиуса качения, имеем

$$M_{к0} = \left(\sum_{i=1}^{2n_{oM}} \frac{r_{кВi}}{\lambda_{Mi}} - M_{кМ} \right) / \sum_{i=1}^{2n_{oM}} \frac{1}{\lambda_{Mi}}$$

Подставив радиус $r_{к0}$ в выражение (*), получим формулу для определения крутящего момента j -го колеса при полностью заблокированной трансмиссии:

$$M_{кj} = \left(M_{кМ} + \sum_{i=1}^{2n_{oM}} \frac{r_{кВj} - r_{кВi}}{\lambda_{Mi}} \right) / \left(\lambda_{Mj} \sum_{i=1}^{2n_{oM}} \frac{1}{\lambda_{Mi}} \right)$$

Блокированная трансмиссия

Значения M_{kj} могут быть положительными (направленными в сторону вращения колес), отрицательными или равными нулю.

При положительном подводимом моменте $M_{км} > 0$ и отрицательных моментах на колесах $M_{kj} < 0$ происходит *циркуляция крутящего момента (мощности)* в замкнутом контуре колесо – ветвь трансмиссии – раздаточная коробка – другие ветви трансмиссии – другие колеса – ОП – колесо.

Без учета потерь циркулирующий момент численно равен крутящим моментам колес, на которых моменты отрицательны. Следовательно, мощность поступает не от трансмиссии к колесам, а наоборот, от колес — в трансмиссию.

Блокированная трансмиссия

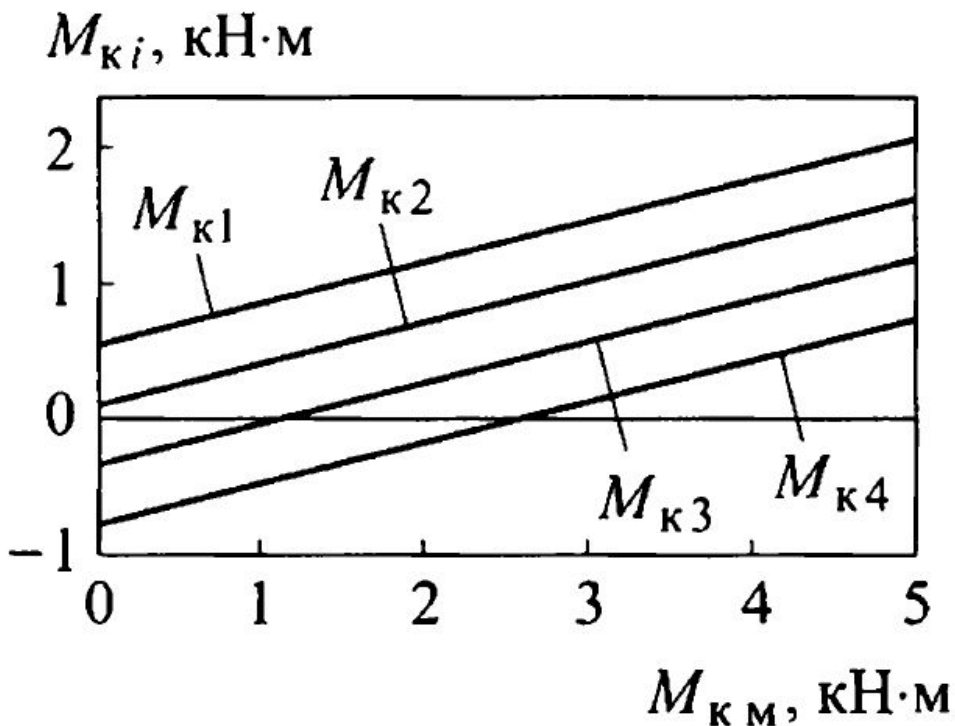
Циркуляция мощности – вредное явление, приводящее к дополнительному увеличению нагрузок, потерям в трансмиссии и шинах, и, как следствие, большому износу деталей и узлов, расходу топлива, ухудшению устойчивости движения.

Начало циркуляции момента определяется условием

$$\sum_{i=1}^{2n_{oM}} |M_{ki}| = \sum_{i=1}^{2n_{oM}} \frac{|r_{KBj} - r_{KBi}|}{\lambda_{Mi}} > M_{KM}$$

Блокированная трансмиссия

Вероятность возникновения циркуляции момента (мощности) снижается с уменьшением разности радиусов качения $r_{кvi}$ в ведомом режиме, увеличением тангенциальной эластичности λ_{Mi} шин и повышением сопротивления движению $M_{км}$.



Смешанная трансмиссия (дифференциально-блокированная)

Вариантов дифференциально-блокированной трансмиссии в многоосных КМ может быть множество в зависимости от числа ведущих осей.

Общую формулу для определения крутящих моментов при всех возможных схемах такой трансмиссии выводить нерационально, поскольку она получается очень громоздкой. Обычно решают частные задачи для конкретных схем.

Смешанная трансмиссия (дифференциально-блокированная)

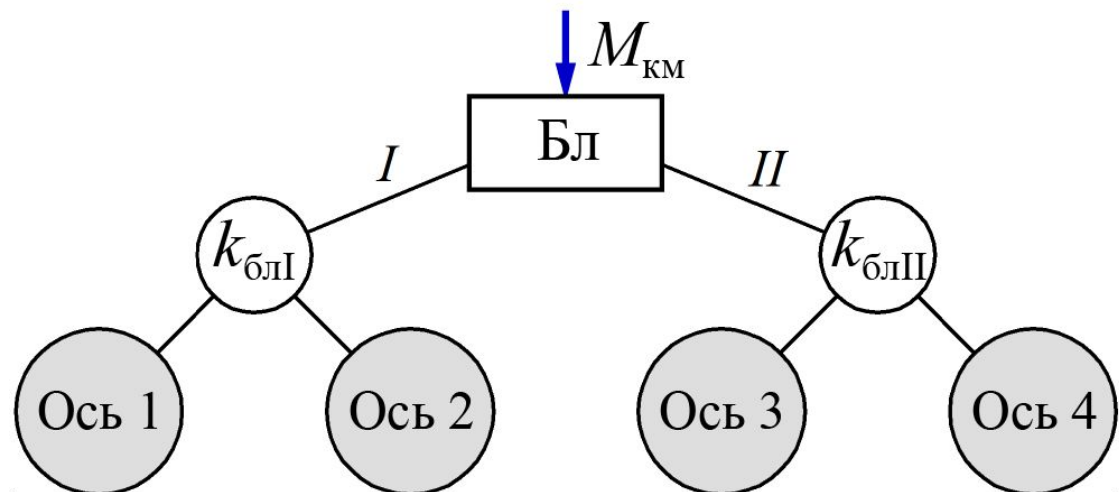
Так, для схемы трансмиссии КМ 8х8 с симметричными дифференциалами между колесами тележек ($k_{блI}$ и $k_{блII}$) и блокированной (Бл) связью между тележками можно записать:

$$M_{к1} = k_{блI} \cdot M_{к2} \qquad M_{к3} = k_{блII} \cdot M_{к4} \qquad \sum_{i=1}^{2n_{оМ}} M_{ki} = M_{кМ}$$

$$2\omega_{к1} = \omega_{к2} + \omega$$

$$2\omega_{к3} = \omega_{к4} + \omega$$

$$\omega_I = \omega_{II}$$



Смешанная трансмиссия (дифференциально-блокированная)

Для большинства задач со сложными схемами трансмиссии наиболее эффективен метод последовательных приближений, при котором, например, изменяя радиус качения колес первой оси $r_{к01}$ и определяя с учетом уравнений связи моменты M_{ki} и их сумму, добиваются равенства ее моменту $M_{км}$ сопротивления движению с заданной точностью.