

Моделирование опорных роликов

Бойков В.Г.

© ООО «АвтоМеханика»

12.04.2012

Опорные ролики используются для восприятия нормального давления и обеспечения трения качения между двумя звеньями поступательной кинематической пары. Пример конструкции опорного ролика в поступательной кинематической паре представлен на рисунке 1. В подобных конструкциях силы взаимодействия между звеньями поступательной пары передаются через группу роликов, которые устанавливаются в разных точках и плоскостях.

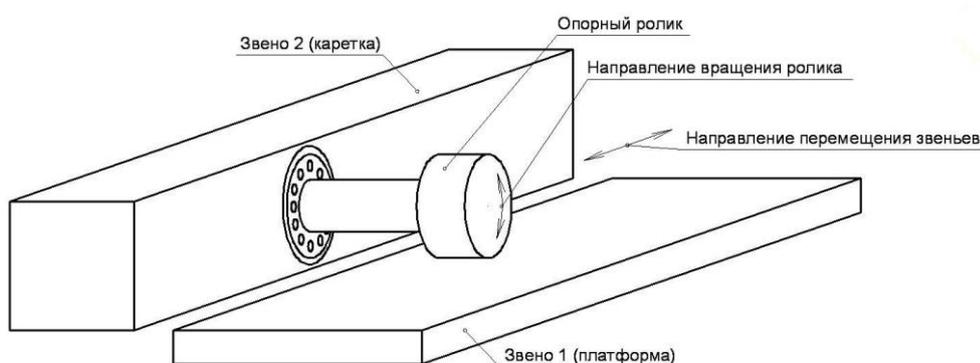
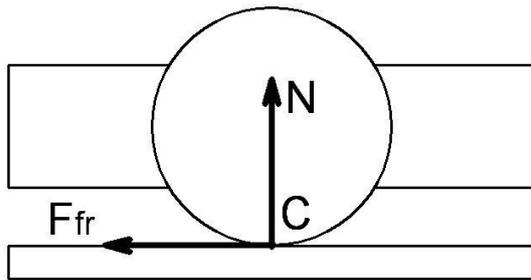


Рис. 1. Опорный ролик в поступательной кинематической паре

Обычно ролик передает усилия только в плоскости перпендикулярной оси его вращения. Схема сил, действующих на ролик, представлена на рисунке 2а. Сила нормального давления N и сила трения F_{fr} приложены в точке C – точке контакта ролика с опорной поверхностью. Полагаем, что момент контактных сил относительно точки C равен нулю, поскольку обычно деформации в области контакта достаточно малы. Инерция вращения ролика обычно мала по сравнению с инерцией движения звеньев поступательной пары, и ей можно пренебречь. В этом случае силы, действующие на ролик, можно приложить непосредственно к звену, на котором он установлен. Такая эквивалентной модель ролика представлена на рисунке 2б. Далее будем рассматривать именно эту модель.

Ролик может функционировать в двух режимах: качение и проскальзывание. Обычным режимом работы ролика является качение, но если момент сопротивления вращению в подшипниках ролика становится больше момента, создаваемого силой трения F_{fr} относительно оси вращения ролика, то ролик заклинивается и переходит в режим проскальзывания.

а) Силы, действующие на ролик



б) Эквивалентная модель ролика

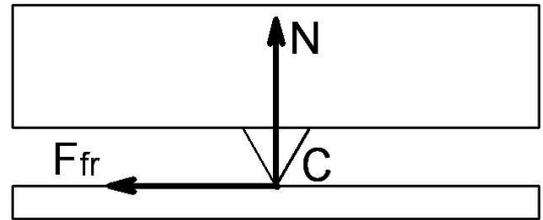


Рис. 2. Взаимодействие ролика с опорной поверхностью

Момент сопротивления вращению в подшипнике будем определять следующим образом:

$$M_b = F \cdot f_b \cdot \frac{d}{2}, \quad (1)$$

где F – радиальная сила, действующая на подшипник со стороны вала;

f_b – коэффициент трения в подшипнике;

d – диаметр вала, на который установлен подшипник.

Значения коэффициентов трения для различных подшипников приведены в таблице 1. Приведенные значения соответствуют рабочей температуре подшипника 50...80 °С и смазке при умеренных нагрузках и частотах вращения $n \leq 4000...5000$ об/мин. В подшипниках скольжения могут возникать следующие виды трения:

- сухое трение (без смазки). В нормально работающих металлических подшипниках практически не встречается;
- полусухое трение. Возникает при неустановившемся режиме работы либо при очень скудной смазке;
- полужидкостное трение. Большинство подшипников скольжения работает в условиях полужидкостного трения, при котором большая часть поверхности разделена слоем смазки, но отдельные элементы поверхности соприкасаются;
- жидкостное трение. В этом случае смазка полностью отделяет вращающуюся цапфу от неподвижной опоры, и трение происходит между слоями смазки. В условиях жидкостного трения работают точно изготовленные подшипники при относительно малых нагрузках и высоких скоростях.

Таблица 1. Коэффициент трения в подшипниках

Тип подшипника	Коэффициент трения f
Подшипники качения	
Шариковые радиальные однорядные	0,001... 0,002
Шариковые радиальные сферические двухрядные	0,002... 0,004
Шариковые радиально-упорные	0,002... 0,003
Конические роликовые радиально-упорные	0,004... 0,008
Подшипники скольжения	
Полусухое трение	0,1... 0,5
Полужидкостное трение	0,008... 0,08
Жидкостное трение	0,001... 0,008

В реальных конструкциях опорные ролики устанавливаются, как правило, на двух подшипниках. На рисунке 3 представлены два варианта установки подшипников на вал ролика: с одной стороны от ролика (вариант а) и с двух сторон (вариант б). Базой установки подшипников является величина a , расстояние между подшипниками b . Диаметры вала и ролика d и D соответственно.

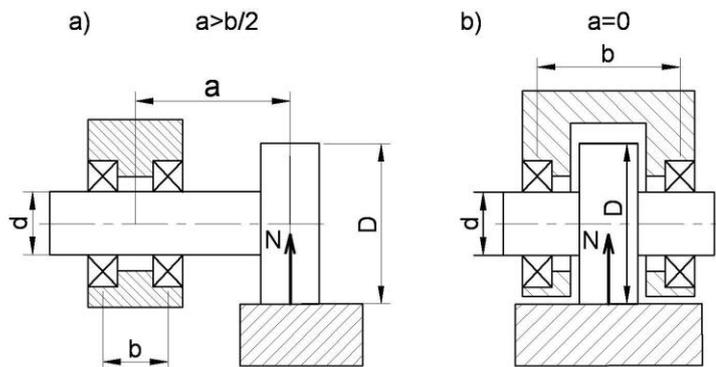


Рис. 3. Варианты установки подшипников

Предположив, что оба подшипника одинаковые и передают только радиальные силы параллельные силе нормального давления на ролик N , из условия равновесия ролика и выражения (1) получаем следующие выражения для моментов сопротивления вращению ролика с учетом трения в обоих подшипниках:

$$M = N \cdot f_b \cdot \frac{a \cdot d}{b}, \text{ для варианта а;} \quad (2)$$

$$M = N \cdot f_b \cdot \frac{d}{2}, \text{ для варианта б.} \quad (3)$$

С учетом сделанных предположений сила трения ролика в режиме качения равна:

$$F_{fr/R} = \frac{M \cdot 2}{D}, \quad (4)$$

где M – момент сопротивления вращению ролика.

Используя выражения (2,3) выражение (4) можно записать в следующем виде:

$$F_{fr/R} = N \cdot k_R, \quad (5)$$

где k_R – коэффициент трения ролика в режиме качения, определяемый следующим образом:

$$k_R = f_b \cdot \frac{d \cdot a \cdot 2}{D \cdot b}, \text{ для варианта а;} \quad (6)$$

$$k_R = f_b \cdot \frac{d}{D}, \text{ для варианта б.} \quad (7)$$

Сила трения ролика в режиме скольжения (когда он заклинен) равна:

$$F_{fr/S} = N \cdot k_S, \quad (8)$$

где k_S – коэффициент трения скольжения между материалами ролика и поверхности.

При движении ролика реализуется такой режим (качение или скольжение), при котором сила трения минимальна. То есть, сила трения, действующая на ролик, определяется следующим образом:

$$F_{fr} = \min \{ F_{fr/R}, F_{fr/S} \}.$$

Или используя выражения (5,8) можно записать:

$$F_{fr} = N \cdot k,$$

где $k = \min \{ k_R, k_S \}$ – коэффициент трения ролика.

Обычно принимается, что при умеренных нагрузках коэффициенты трения f_b и k_S не зависят от нормальной силы. В этом случае режим движения ролика определяется только конструктивными параметрами и значениями коэффициентов трения и не зависит от нагрузки. При больших нагрузках коэффициент трения в подшипнике может существенно увеличиваться с увеличением радиальной силы. В этом случае режим движения ролика может изменяться с изменением нагрузки.

На рисунке 4 представлена модель каретки с 12-ю опорными роликами, которая движется поступательно относительно направляющего рельса. Каретка приводится в движение вращением коленчатого вала, соединенного с

кареткой шатуном. Модель каретки описана в файле «carriage.elr» в виде исходного файла ПК EULER.

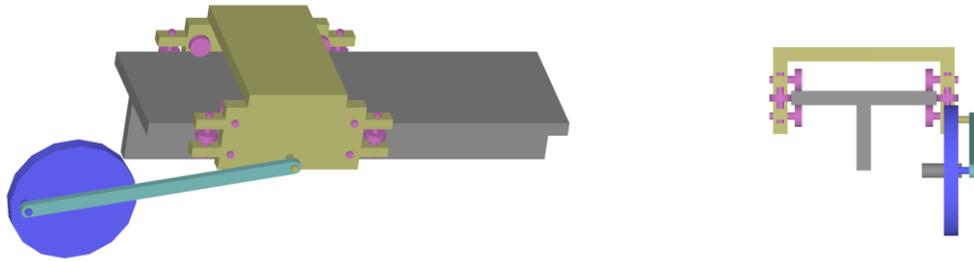


Рис. 4. Каретка с опорными роликами

Опорные ролики каретки отображены в модели отдельными телами красного цвета, но их моделирование производится контактными силовыми элементами типа «точка-поверхность» «contactPS2». Коэффициент трения верхних и нижних роликов определяется в соответствии с выражением (6). Коэффициент трения боковых роликов определяется в соответствии с выражением (7). На каретку действует боковая сила. К коленчатому валу приложен постоянный крутящий момент. При значении коэффициента трения в подшипниках 0.002, что соответствует шариковым подшипникам качения, заклинивания каретки не происходит. При значении коэффициента трения в подшипниках 0.05, что соответствует подшипникам скольжения с полужидким трением, через 0.7 секунды после начала движения происходит заклинивание каретки.