

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ И УГЛА ОБХВАТА КОЛОДКОЙ И ЛЕНТОЙ ТОРМОЗНОГО ШКИВА НА РАВНОВЕСИЕ РЫЧАЖНОЙ СИСТЕМЫ

Бондаренко Л. Н., Главацкий К. Ц., Богомаз В. Н., Брылева М. Г.

Постановка проблемы. Количественной мерой механического взаимодействия между физическими объектами является сила, характеризующаяся модулем, ее направлением и точкой приложения. Поэтому, важно знать это взаимодействие особенно к тормозам, поскольку рабочие скорости машин и нагрузки на их отдельные звенья значительно возрасли.

Поэтому, требуется более точное знание величин нагрузок при расчетах, как самих тормозов, так и сопряженных с ними механизмов и деталей.

Цель статьи – исследовать влияние величины угла обхвата лентой и колодкой тормозного шкива на равновесие плоской системы.

Материал исследований. 1. Равновесие расчетной системы с ленточным тормозом.

Эта задача при угле обхвата лентой тормозного шкива $\beta = 180^\circ$ подробно рассмотрена в [1]. Поэтому, кратко повторим решение при $\beta \neq 180^\circ$.

В постановке, отличной от [1], задача выглядит так, как показано на рис. 1. Необходимо найти расстояние c , при котором давление в шарнире D равнялось бы нулю.

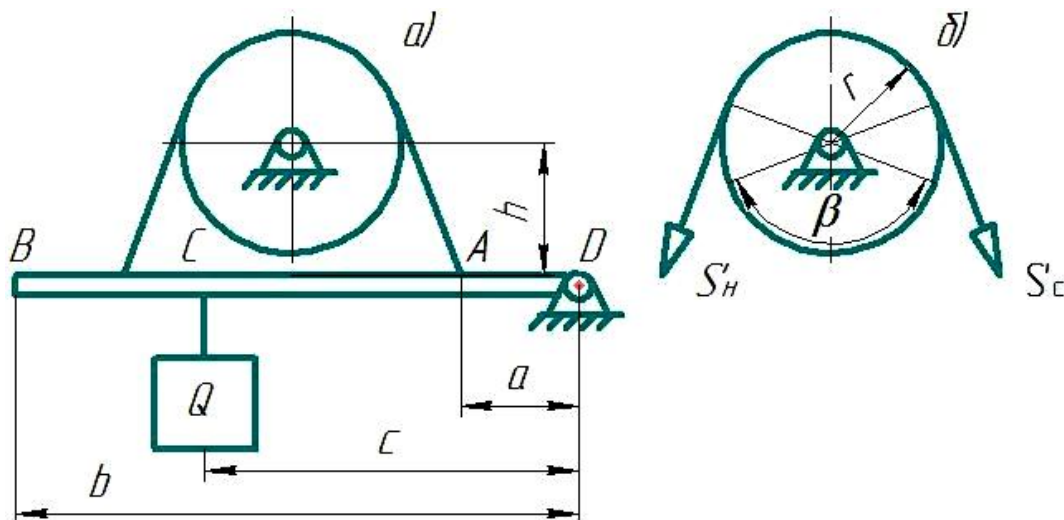


Рис. 1. К определению равновесия рычага с ленточным тормозом

Уравнение равновесия рычага BAD с учетом, что давление в точке D равно нулю:

$$\sum F_{ky} = S'_H \sin \frac{\beta}{2} + S'_C \sin \frac{\beta}{2} - Q = 0, \quad (1)$$

$$\sum m_D(F_k) = Qc - S'_H a \sin \frac{\beta}{2} - S'_C b \sin \frac{\beta}{2} = 0. \quad (2)$$

Согласно формулы Эйлера зависимость между натяжениями набегающей S_n и сбегающей S_c гибкой нерастяжимой нити:

$$S_n = S_c e^{f\beta}, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения между нитью и шкивом.

Из уравнений (1) и (3) получим:

$$S'_c = \frac{Q}{1 + e^{f\beta} \sin \frac{\beta}{2}}; \quad S'_n = \frac{Q e^{f\beta}}{1 + e^{f\beta} \sin \frac{\beta}{2}}.$$

Подставляя эти значения в уравнение (2) получим:

$$c = \frac{S_c a + S_n b}{Q} = \frac{a + b e^{f\beta}}{1 + e^{f\beta}}. \quad (4)$$

Это уравнение совпадает с полученным уравнением в [1].

Поскольку поставлена задача: оценить величину угла обхвата, то, в связи с его изменением, будет меняться при, например, постоянной величине a расстояние b , и, с целью соблюдения пропорциональности этого размера, будем его менять согласно зависимости:

$$b = a + 2 \left(h + r \cos \frac{\beta}{2} \right) \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} + 2r \sin \frac{\beta}{2}. \quad (5)$$

Величина b при $a = 500$ мм в зависимости от угла β показана на рис. 2.

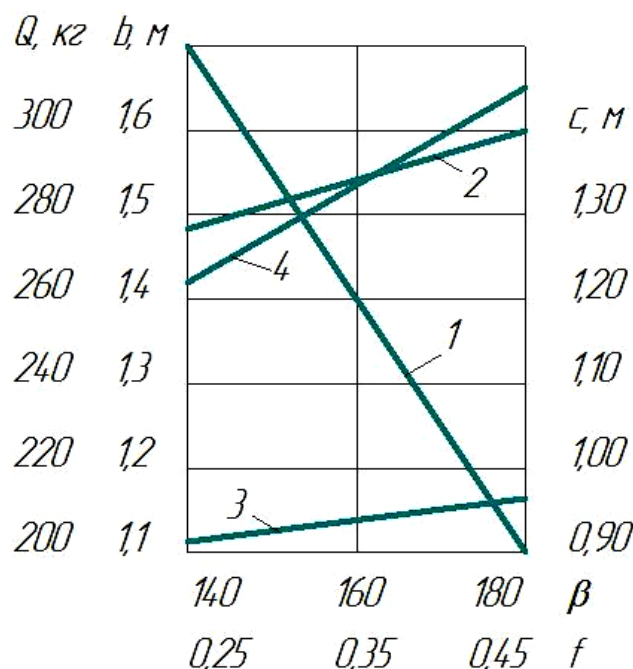


Рис. 2. Зависимость от угла обхвата тормозного шкива лентой: расстояния b (1); от коэффициента трения расстояния c при $\beta = 140^\circ$ (2) и $\beta = 180^\circ$ (3); массы груза Q от β при $f = 0,3$ (4)

Здесь же показаны зависимость от β массы груза Q , при которой давление в точке D равняется нулю (при $f = 0,3$; $S_c = 750$ Н) и величина c в зависимости от f при $\beta = 140^\circ$ и $\beta = 180^\circ$.

2. Равновесие рычажной системы с колодочным тормозом.

В большинстве задач теоретической механики при решении задач с колодочными тормозами отсутствует угол обхвата колодкой тормозного шкива. Отметим, что в прикладной механике даже при расчете величины тормозного момента угол обхвата отсутствует и определяется для одной колодки, как $M = PfR$. Очевидно имеется ввиду, что распределенное по дуге обхвата давление равно величине нормального давления на шкив, согласно которого и определяется сила трения скольжения.

Однако, если длина дуги обхвата $L = \beta R$, то длина хорды $a = 2R \sin \frac{\beta}{2}$ и $L = a$ только при малом угле β , а, например, при $\beta = 180^\circ$, $L = 1,57a$.

Задачу, подобную выше приведенной для колодочного тормоза, позаимствуем с [2], где решение приведено без учета угла обхвата колодкой шкива.

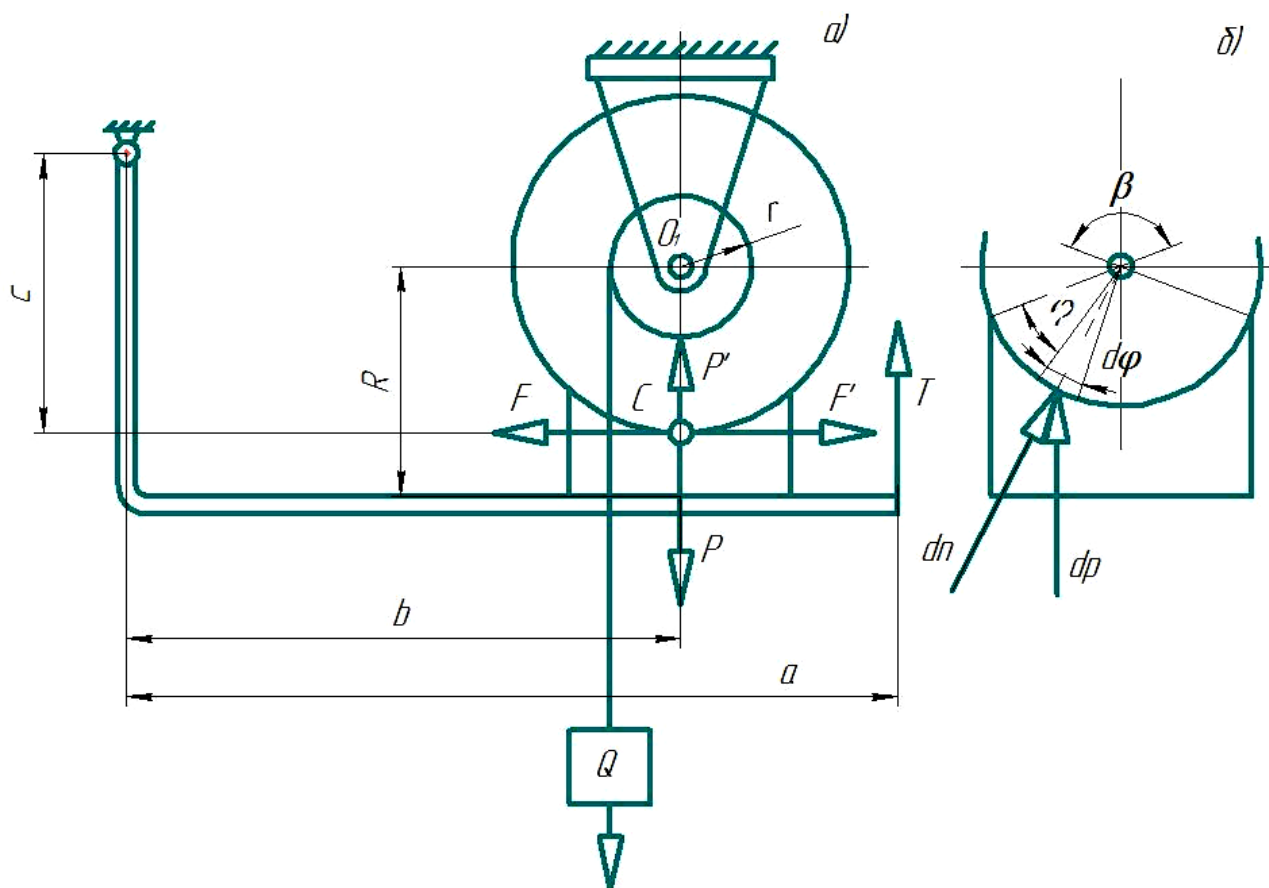


Рис. 3. К условию задачи на равновесие с колодочным тормозом

Прежде, чем написать условие равновесия для шкива и для рычага OAB , найдем величину силы трения F с учетом угла обхвата колодкой шкива. Для этого выделим на дуге

обхвата элементарный сегмент с центральным углом, равным $d\varphi$. На дугу $Rd\varphi$ действует сила $P/\beta d\varphi$, нормальная к поверхности шкива которой составляет $P \cos \varphi d\varphi / \beta$.

Общая нормальная сила, действующая на шкив (рис. 4, б):

$$N = \frac{P}{\beta} \int_{-\beta/2}^{+\beta/2} \cos \varphi d\varphi = \frac{2P}{\beta} \sin \frac{\beta}{2}, \quad (6)$$

А величина силы трения:

$$F = \frac{2Pf}{\beta} \sin \frac{\beta}{2}. \quad (7)$$

Из условия равновесия рычага получим следующие два уравнения:

$$rQ = \frac{2PRf}{\beta} \sin \frac{\beta}{2}; \quad cF' + aT - bP' = 0.$$

Заменяя F' и N' на F и N , получим:

$$\frac{2PRf}{\beta} \sin \frac{\beta}{2} = rQ; \quad aT = bP - \frac{2cPf}{\beta} \sin \frac{\beta}{2};$$

и отсюда:

$$T = \frac{rQ\beta}{2aR \sin \frac{\beta}{2}} \left(\frac{b}{f} - c \right); \quad (8)$$

(при $\beta \rightarrow 0$ $T = \frac{rQ}{aR} \left(\frac{b}{f} - c \right)$, что соответствует выражению, полученному в [2]).

Значения T в зависимости от β при $R = 200$ мм, $r = 100$ мм, $b = 700$ мм, $c = 500$ мм, $Q = 120$ кг, $a = 1100$ мм, $f = 0,3$ и $f = 0,4$ показаны на рис. 4.

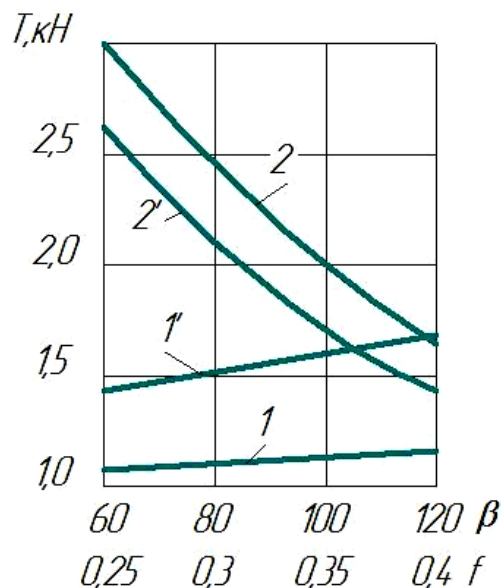


Рис. 4. Зависимость силы, необходимой для затормаживания шкива: 1,1' - от угла обхвата тормозной колодки шкива при: $f = 0,3$ и $f = 0,4$; 2,2' - от коэффициента трения скольжения при $\beta = 120^\circ$ и $\beta = 60^\circ$.

Здесь же показаны эти значения в зависимости от f при $\beta = 60^\circ$ и $\beta = 120^\circ$ (минимальное и максимальное значения для колодочных тормозов [3]).

Анализ полученных зависимостей и графиков на рис. 2 и рис. 4 позволяет сделать следующие выводы:

- несмотря на сложную математическую зависимость, определяющую равновесие рычажной системы, включающей ленточный тормоз, величина силы равновесия практически линейно зависит от угла обхвата лентой шкива;
- отсутствие в задачах теоретической и прикладной механики угла обхвата колодкой тормозного шкива является ошибкой: при одинаковой величине силы прижатия колодки тормозной момент при углах обхвата 60° и 120° отличается до 15%.

Литература

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Физматгиздат, 1970. – 480 с.
2. Воронков И.М. Курс теоретической механики. М.: наука, 1964. – 596 с.
3. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2/Александров М.П., Гохберг М.М., Ковин А.А. и др. – Л.: Машиностроение, 1988. 559 с.