

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКОЙ И ОБОДОМ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

При исследовании закономерности распределения удельных давлений по рабочей поверхности колодки многие авторы выдвигали предположение, что тормозной обод представляет собой абсолютно жесткое тело. Из этого следует, что искомое удельное давление изменяется по синусоидальному закону.

$$P = P_{\max} - \sin \beta \quad (I)$$

где  $P_{\max}$  - максимальное удельное давление колодки на обод в точке, соответствующей углу  $\beta = 90^\circ$ . За начало отсчета принимается линия, соединяющая центр шкива с центром качания колодок.

Однако под влиянием давления тормозной колодки на упругий обод последний теряет круглую форму (рис. 1). При работе тормоза мягкий материал колодки (дерево, ферродо, фрикционная пресс-масса) прирабатывается к форме обода, принимая соответствующее очертание.

В дальнейшем исходим из следующих основных допущений:

1. Прирабатываемая поверхность трения колодки точно соответствует форме поверхности тормозного обода.

2. Вследствие мягкости колодки по сравнению с металлическим тормозным ободом, последний не истирается, и износ от трения получают только колодки.

3. Износ колодки пропорционален удельной работе трения, т.е. при постоянном коэффициенте трения объем изношенного материала колодки пропорционален удельному давлению (так как продолжительность истирания

для всех точек колодки одинакова).

Коэффициент трения колодки по ободу не зависит от удельного давления.

Вследствие того, что радиальные перемещения отдельных точек тормозного обода под влиянием давления колодок весьма незначительны (измеряются несколькими миллиметрами), приработку колодок к форме обода считаем происходящей за промежуток времени, весьма малый по сравнению с продолжительностью процесса торможения.

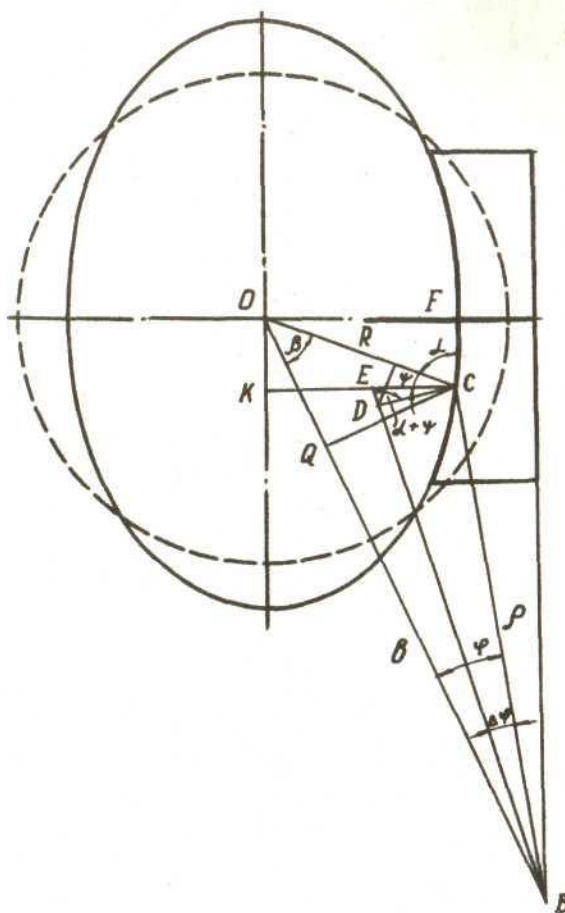


Рис. 1

Пусть в процессе работы колодка несколько износилась. Тогда для того, чтобы сохранить касание поверхностей трения, колодка должна повернуться на малый угол  $\Delta\varphi$ , причем произвольная точка колодки С переходит в положение Д, описывая дугу СД.

Дифференциал объема изношенного материала колодка в точке С

пропорционален отрезку  $CE$ , представляющему собой проекцию дуги  $CD$  на нормаль к ободу  $СК$ . Объем изношенного материала, согласно допущению 3, пропорционален работе трения, а так как скорость обода относительно колодки одинакова для всех точек соприкосновения (считая деформации обода малыми), то отрезок  $CE$  будет пропорционален удельному давлению колодки на обод.

При первоначальной круглой форме обода нормаль в точке  $C$  проходила через центр вращения  $O$ , при деформации же обода она отклонилась на малый угол  $\psi$ , приняв положение  $СК$ . Таким образом, отрезок

$$CE = CD \sin(\alpha + \psi) = CD(\sin \alpha \cos \psi + \cos \alpha \sin \psi)$$

или, вследствие малости угла  $\psi$ :

$$CE = CD(\sin \alpha + \psi \cos \alpha) \quad (2)$$

Обозначая  $OC = R$ ;  $CB = \rho$ ;  $OB = b$ ;  $CE = \lambda$ ,

находим:

$$\sin \alpha = \frac{b \cdot \sin \beta}{\rho}; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{b \sin \beta}{\rho}\right)^2}$$

Замечая, что

$$CD = \rho \Delta \varphi$$

получим:

$$\lambda = \Delta \varphi \left( b \sin \beta \pm \psi \sqrt{\rho^2 - b^2 \sin^2 \beta} \right) \quad (3)$$

или после преобразований:

$$\lambda = b \cdot \Delta \varphi \left[ \sin \beta \pm \psi \left( \cos \beta - \frac{R}{b} \right) \right] \quad (4)$$

Если считать обод не деформируемым, то  $\psi = 0$ , и формула (4) представится в следующем виде:

$$\lambda = b \cdot \Delta \varphi \sin \beta \quad (5)$$

Согласно вышеприведенным соображениям о пропорциональности удельных давлений величинам  $\lambda$ , из формулы (5) следует для случая жесткого обода:

$$\rho = \rho_{\max} \cdot \sin \beta \quad (6)$$

что возвращает к уравнению (I).

По аналогии с (6) получим для случая упругого обода:

$$\frac{\rho}{\rho_{\max}} = \left[ \sin \beta \pm \psi \left( \cos \beta - \frac{R}{b} \right) \right], \quad (7)$$

где  $R$  - радиус обода;

$b$  - расстояние от центра обода до центра качания колодки.

Угол  $\psi$  в любой точке определяется законом распределения удельных давлений вдоль всей дуги трения. Считая угол  $\beta$  зафиксированным и обозначая текущий угол через  $\theta$ , получим для нормальных сил:

$$\psi = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \rho(\theta) \xi(\theta, \beta) R d\theta \quad (8)$$

где  $\beta_1$  и  $\beta_2$  - углы, определяющие границы дуги прилегания колодки к ободу.

$\xi$  - представляет собой угол поворота сечения обода в произвольной точке дуги касания, определяемой углом  $\beta$  от действия радиальной единичной силы, приложенной в точке, определяемой углом  $\theta$ .

Подставляя значение угла  $\psi$  в формулу (7), получим:

$$\frac{\rho(\beta)}{\rho_{\max}} = \sin \beta \pm \left( \cos \beta - \frac{R}{b} \right) \int_{\beta_1}^{\beta_2} \rho(\theta) \xi(\theta, \beta) R d\theta. \quad (9)$$

Уравнение (9) характерно только для нормальных сил. Для сил трения, возникающих между колодкой и ободом, может быть составлено аналогичное уравнение:

$$\psi_1 = f \int_{\beta_1}^{\beta_2} \rho(\theta) \xi_1(\theta, \beta) R d\theta, \quad (10)$$

где  $\psi$  - угол поворота нормали к ободу в точке, определяемой углом  $\beta$ , от

сил, направленных по касательным к ободу и приложенных на участке центрального угла от  $\beta_1$ , до  $\beta_2$ ;  $\xi_1$  - угол поворота сечения обода в произвольной точке, определяемой центральным углом  $\beta$  от действия единичной силы, направленной по касательной к ободу и приложенной в точке, определяемой углом  $\theta$ .

Подставляя значение угла  $\psi_1$  в формулу (7), получим значение удельного давления с учетом сил трения:

$$\frac{\rho(\beta)}{\rho_{\max}} = \sin \beta \pm \left( \cos \beta - \frac{R}{b} \right) \left[ \int_{\beta_1}^{\beta_2} \rho(\theta) \xi(\theta, \beta) R d\theta + f \int_{\beta_1}^{\beta_2} \rho(\theta) \xi_1(\theta, \beta) R d\theta \right]. \quad (11)$$

Таким образом, получаем два интегральных уравнения: без учета сил трения (9) и с учетом сил трения :

Для определения функции  $\xi$  составим интеграл

$$\xi = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{M \bar{M}}{EI} R d\theta, \quad (12)$$

где  $M$  - изгибающий момент в произвольной точке дуги касания, определяемой углом  $\beta$  от действия единичной силы, приложенной в точке, определяемой углом  $\theta$ ,

$\bar{M}$  - изгибающий момент в произвольной точке, определяемой углом  $\beta$  от действия единичного изгибающего момента, приложенного в той же точке.

Для нахождения  $M$  и  $\bar{M}$  предварительно решаются две задачи.

Первая задача. Круглый обод сжимается двумя силами  $P$ , приложенными в точках, определяемых углом  $\theta$  (рис. 2). Требуется определить изгибающий момент на верхнем конце вертикального диаметра и в произвольной точке, определяемой углом  $\beta$ .

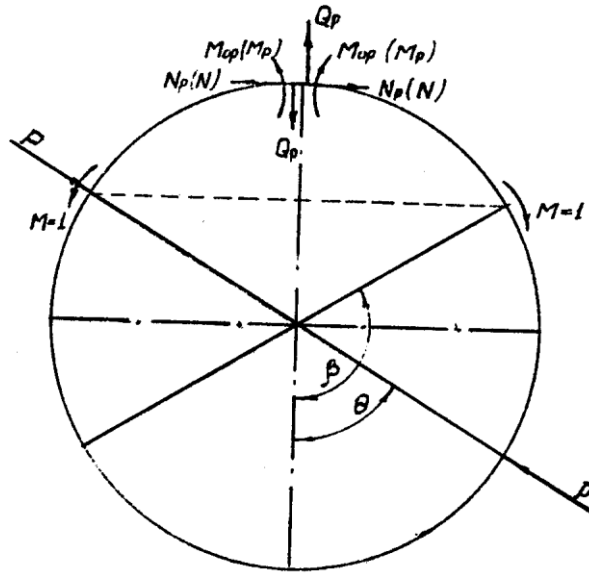


Рис. 2

Для решения этой задачи разрезаем обод на верхнем конце вертикального диаметра и вводим неизвестную продольную силу  $N_p$ , поперечную силу  $Q_p$  и изгибающий момент  $M_{op}$ .

Пользуясь теоремой Кастилиано, получаем систему уравнений, из которых определяются неизвестные величины

$$N_p = \frac{P}{2} \sin \theta \quad (13)$$

$$Q_p = -\frac{P}{2} \cos \theta \quad (14)$$

$$M_{op} = PR \left( \frac{1}{\pi} - \frac{\sin \theta}{2} \right) \quad (15)$$

Вторая задача. Для нахождения угла поворота в произвольной точке обода приложим в этой же точке изгибающий момент, равный единице. Из условия симметрии поперечные силы на концах вертикального диаметра равны нулю.

Пользуясь теоремой Кастилиано, получаем систему уравнений, из которых определяются неизвестные реакции

$$N = \frac{2M \sin \beta}{\pi R} \quad (16)$$

$$M_o = M \frac{\pi - \beta - 2 \sin \beta}{\pi} \quad (17)$$

### **Список использованных источников**

1. Подъемно-транспортное оборудование. Вып. 17 : респ. межвед. научн.-техн. сб. / Укр. заоч. политехн. ин-т. – К. : Техника, 1986. – 86 с.
2. Шеффер М. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М. Шеффер, Г. Пайлер, Ф. Курт ; сокр. пер. с нем. А. П. Сисекина ; под ред. И. И. Абрамовича. – М. : Машиностроение, 1980. – 255 с.

*Лазаренко В. И.* Распределение удельного давления между тормозной колодкой и ободом шахтной подъемной машины

В статье рассматриваются вопросы исследования закона распределения удельного давления по дуге соприкасания тормозной колодки и обода и влияние этого распределения на характеристики тормозной системы.

*Лазаренко В. І.* Розподіл питомого тиску між гальмівною колодкою і ободом шахтної підйомної машини

У статті розглядаються питання дослідження закону розподілу питомого тиску по дузі стикання гальмівної колодки і обода і вплив цього розподілу на характеристики гальмівної системи.

*Lazarenko V. I.* Distributing of specific pressure between a skid and rim of mine lifting machine

In the article the questions of research of law of distributing of specific pressure on the arc of adjoining of skid and rim and influencing of this distributing are examined on descriptions of the brake system.