

УДК 621.01.(0.75)

Главацкий К. Ц., Бондаренко Л. Н., Посмитюха А. П.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА РАСЧЕТНОГО РАДИУСА ТРЕНИЯ ПЛОСКИХ ПЯТ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Подпятники (опорные подшипники механизмов строительных и дорожных машин) служат для поддержания вращающихся осей и валов при действии нагрузок, направленных вдоль оси вращения (при осевой нагрузке). Они могут быть с плоской, кольцевой и гребенчатой пятнами.

Величина момента сил трения, возникающих под действием осевой силы Q при скольжении пяты по подпятнику, зависит от закона распределения удельного давления на опорной поверхности. Считается, что для новых пят удельное давление распределяется равномерно, а для приработанных – из условия одинакового износа во всех точках поверхности [1].

Как в первом, так и во втором случаях момент трения находится исходя из равнодействующей распределенной нагрузки. Более логично расчет надо было бы вести через средний радиус трения, который находится из равенства работ сил трения.

Цель статьи – определить положение среднего радиуса трения, найденного из равенства работ сил трения над и под его положением, что позволит судить о средних величинах износа, температуры, давления.

1. Случай равномерного распределения давления.

Как и в [1], можно выделить элементарную площадку $dS = \rho d\rho d\varphi$ (рис. 1) и приложить к ней нормальную силу $dN = qdS$ и силу $dF = \mu dN$.

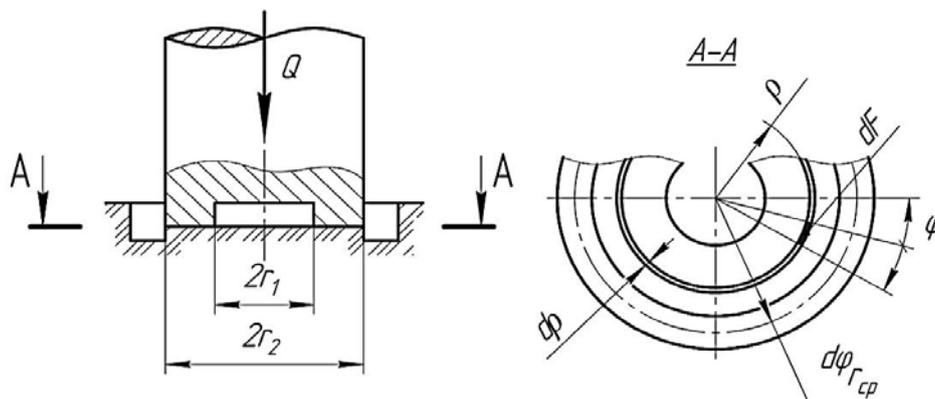


Рис. 1. К определению среднего радиуса плоской пяты

При $q = const$ в [1] получено следующее выражение для определения момента трения:

$$M = \frac{2}{3} \mu Q (r_1 + r_2). \quad (1)$$

Исходя из этого выражения следует, что средний радиус трения равен:

$$r_{cp} = \frac{2}{3} (r_1 + r_2). \quad (2)$$

Можно найти величину r_{cp} из условия равенства работ силы трения на площадях над r_{cp} и под ним.

Элементарная работа сил трения за один оборот пяты:

$$dA = dN \cdot 2\pi r \mu = \frac{2Q\rho^2\mu}{r_2^2 - r_1^2} d\rho d\varphi. \quad (3)$$

Проинтегрировав это выражение в пределах $r_2 - r_{cp}$ и $r_{cp} - r_1$, получены работы над и под средней линией:

$$A_n = \frac{2Q\mu}{(r_2^2 - r_1^2)} \int_0^{2\pi} \int_{r_{cp}}^r \rho^2 d\rho d\varphi = \frac{4Q\pi\mu}{3(r_2^2 - r_1^2)} (r_2^3 - r_{cp}^3). \quad (4)$$

$$A_n = \frac{4Q\pi\mu}{3(r_2^2 - r_1^2)} (r_{cp}^3 - r_1^3). \quad (5)$$

Исходя из поставленной задачи, приравняв эти работы, получено:

$$r_{cp} = \sqrt{\frac{r_1^2 + r_2^2}{2}}. \quad (6)$$

Зависимости от величины r_1 при постоянной величине $r_2 = 100$ мм, $Q = 50$ кН, $\mu = 0,1$ значения r_{cp} и момента трения показаны на рис. 2. Здесь же показаны и мощности сил трения при частоте вращения оси $n = 100$ об/мин.

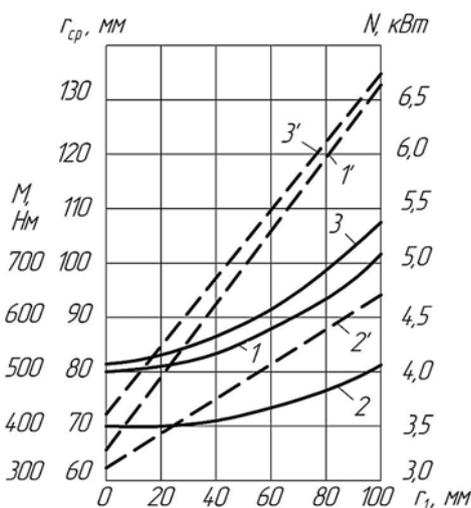


Рис. 2. Зависимость от внутреннего радиуса кольцевой пяты:

1 – среднего радиуса из равенства работы трения; 1' – то же из равнодействующей распределенной нагрузки; 2 – момент трения при равенстве работ; 2' – то же при равнодействующей распределенной нагрузки; 3 – мощность трения при равенстве работ трения; 3' – то же при распределенной нагрузке

2. Случай распределения давления при одинаковом износе во всех точках пяты.

Будем считать, что износ в направлении нормали $\delta = c\omega q\rho = c_1 q\rho$. Поскольку для плоской пяты $q\rho = const$, то аналогично [1], величина осевой силы определяется как:

$$Q = q\rho \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{2\pi} d\rho d\varphi = 2\pi q\rho (r_2 - r_1). \quad (7)$$

Отсюда удельное давление в точке, расположенной на расстоянии ρ от оси:

$$q = \frac{Q}{2\pi\rho(r_2 - r_1)}. \quad (8)$$

Для определения величины среднего давления q_{cp} найдена площадь фигуры, ограниченной этим уравнением и осью ординат r_2 и r_1 :

$$S_1 = \frac{Q}{2\pi(r_2-r_1)} \int_{r_1}^{r_2} \frac{d\rho}{\rho} = \frac{Q}{2\pi(r_2-r_1)} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (9)$$

Площадь равномерного прямоугольника:

$$S_2 = q_{\text{ср}}(r_2 - r_1). \quad (10)$$

Приравняв эти выражения, получено:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q}{2\pi(r_2-r_1)^2} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (11)$$

Поскольку $q_{\text{ср}}$ и $\rho_{\text{ср}}$ должны быть постоянными величинами, то при известной величине $q_{\text{ср}}$ из (9):

$$\rho_{\text{ср}} = q_{\text{ср}} = \frac{Q}{q_{\text{ср}} 2\pi(r_2-r_1)} = \frac{r_2-r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (12)$$

Отмечается, что в [1] формула (12) записана следующим образом:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q}{\pi(r_2^2-r_1^2)}.$$

Изменение среднего удельного давления для плоской кольцевой пяты:

– по предлагаемым формулам:

$$q_{\text{ср}} r_{\text{ср}} = A_{\text{п}} = \frac{Q(r_2+r_1)}{\pi(r_2-r_1)} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (13)$$

– по формулам, приведенным в [1]:

$$q_{\text{ср}} r_{\text{ср}} = A_{\text{с}} = \frac{Q}{2\pi(r_2-r_1)}.$$

Зависимости от внутреннего радиуса средних радиусов и средних удельных давлений, полученных по предлагаемым и существующим формулам, показаны на рис. 3.

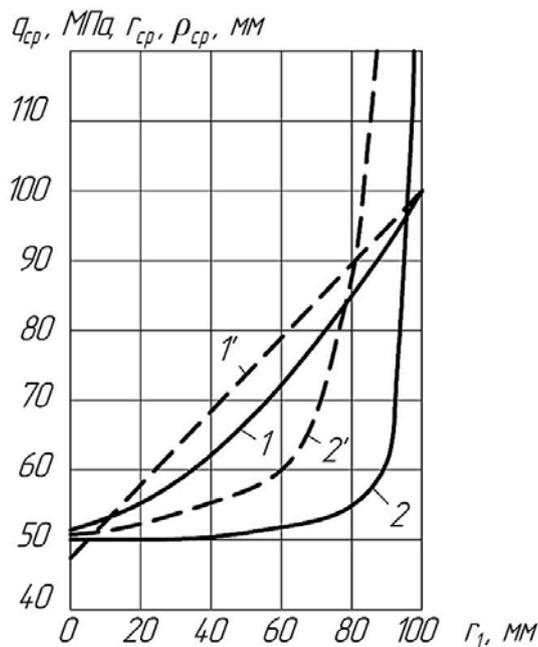


Рис. 3. Зависимости от внутреннего радиуса (при $r_2 = 100$ мм):

1, 1' – средних радиусов, полученных по предлагаемой и приведенной в [1] формулам;
2, 2' – то же для средних удельных давлений

3. Задача, рассмотренная в п. 1, аналогична расчету дисковых тормозов. В [2, 3] и [4] средний радиус трения, полученный исходя из радиуса действия всех элементарных сил по площади трения интегрированием момента трения, возникающего по кольцевой площади трения шириной dr на расстоянии ρ от оси вращения и при давлении P на этой площади. В результате получено следующее выражение для определения среднего радиуса:

$$r_{\text{cp}} = \frac{2 r_2^3 - r_1^3}{3 r_2^2 - r_1^2}. \quad (14)$$

В [4] кроме того, получена формула для r_{cp} исходя из условия равномерного износа поверхностей трения $pV = \text{const}$:

$$r_{\text{cp}} = \frac{r_2 - r_1}{2}.$$

Поскольку главная физическая задача тормозов состоит в превращении механической энергии в тепловую, то величину среднего радиуса трения более корректно находить из равенства работ, как приведено в п. 1 для пят.

Значения r_{cp} для дисковых тормозов получены в [5, 6, 7].

ВЫВОДЫ

Анализ полученных зависимостей и графиков на рис. 2 и рис. 3 позволяет сделать следующие выводы:

- при равномерном распределении удельного давления для кольцевой сплошной пяты средние значения радиусов давления, моментов трения более корректно определить из равенства работ относительно условного среднего радиуса, поскольку существующие формулы предполагают линейную зависимость между площадью и размерами;
- в решении задач при распределении давления для случая одинакового износа во всех точках пяты более точно находить из равенства площадей прямоугольника и фигуры, ограниченной уравнением, определяющим удельное давление на установленном расстоянии от центра пяты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин / С. Н. Кожевников. – М. : Машиностроение, 1968. – 584 с.
2. Тормозные устройства / Александров М. П., Лысяков А. Г., Федосеев В. Н. [и др.] – М. : Машиностроение, 1985. – 319 с.
3. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2 / Александров М. П., Гохберг М. М., Ковин А. А. [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1988. – 359 с.
4. Подъемно-транспортные машины / Александров М. П., Колобов Л. Н., Лобов Н. А. [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 400 с.
5. Бондаренко Л. Н. Определение средних радиусов трения конических и дисковых тормозов / Бондаренко Л. Н. Подъемные сооружения. Специальная техника. – Одесса НТА Подъемные сооружения, 2009. – № 5(93). – С. 26–28.
6. Бондаренко Л. М. До розрахунку дискових гальм електричних талів / Бондаренко Л. М., Ракша С. В. // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ : ДІТ. – 2010. – № 4. – С. 23–26.
7. Бондаренко Л. Н. Влияние сопротивления качению на работу фрикционных остановов и эксцентрик-ловителей / Л. Н. Бондаренко, К. Ц. Главацкий, В. Э. Черкудинов // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ : ДІТ. – 2010. – № 4. – С. 81–85.

Статья поступила в редакцию 11.02.2019 г.