

## **Зависимость между натяжениями ветвей в ленточно-колодочных тормозах от количества колодок**

**Бондаренко Л.Н., Колбун В.В., Жаковский А.Д.**

*Уточняется величина тормозного момента с учетом нормального давления колодок на тормозной шкив и уточняется величина тормозного момента в зависимости от количества колодок.*

**Ключевые слова:** тормозной момент, количество колодок, натяжение ленты, угол охвата, величина давления колодки.

*Уточнюється величина гальмівного моменту з урахуванням нормального тиску колодок на гальмівний шків і уточнюється величина гальмівного моменту залежно від кількості колодок.*

**Ключові слова:** гальмівний момент, кількість колодок, натягнення стрічки, кут охоплення, величина тиску колодки.

*The size of brake moment is specified taking into account normal pressure of shoe trees on a brake pulley and the size of brake moment is specified depending on the amount of shoe trees.*

**Key words:** brake moment, amount of shoe trees, pull of ribbon, corner of scope, size of pressure of shoe tree.

**Постановка проблемы.** Ленточно-колодочные тормоза применяются в машинах с тяжелым режимом работы (экскаваторы, лебедки бурового оборудования, шахтные подъемные машины и т.п.). В этих тормозах накладки изготавливают в виде отдельных жестких колодок закрепленных на относительно гибкой стальной ленте, которую в расчетах можно считать недеформируемой. В справочной литературе и диссертациях имеется, по крайней мере, три формулы для расчета отношений напряжений в набегающей и сбегающей ветвях ленты этих тормозов.

Поскольку в тормозах главным расчетным параметром является тормозной момент, то от правильного определения его величины зависит безопасность работы, точность позиционирования механизмов и рабочего органа, и знание более точной величины тормозного момента является актуальной задачей.

**Цель статьи.** Установить величину тормозного момента с учетом нормального давления колодок на тормозной шкив и уточнить величину тормозного момента в зависимости от количества колодок.

**Материал исследований.** В [1] натяжение  $S_{нб}$  набегающей ветви ленты с  $n$  колодками, равномерно расположенными по ее длине к натяжению  $S_{сб}$  сбегающей ветви

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = e^{\mu \cdot \beta}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол обхвата лентой шкива, измеряемый между линиями, соединяющими центры крайних колодок с центром шкива;  $\mu$  – коэффициент трения.

В [2] формула (1) записана в виде

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = e^{\mu \cdot (\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n)}, \quad (2)$$

где  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – углы охвата соответствующей колодкой шкива.

Таким образом, формула (2) полностью соответствует формуле Эйлера, а формула (1) представляет собой ту же несколько «урезанную» по углу охвата формулу Эйлера.

Поскольку Эйлером формула получена для абсолютно гибкой нити, то, очевидно, что распространение ее на абсолютно жесткие колодки, соприкасающиеся с тормозным шкивом, вряд ли корректно.

С учетом этого Костициным В.Г. [3] получена следующая формула (при  $n=1, 2, \dots, 16$ )

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = \left[ \frac{\cos(\beta/2) + \mu \cdot \sin(\beta/2)}{\cos(\beta/2) - \mu \cdot \sin(\beta/2)} \right]^n. \quad (3)$$

Отношение  $S_{нб}/S_{сб}$  получено и Александровым М.П. [3]

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = (1 + 2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2})^n. \quad (4)$$

Отметим, что формула (3) при малом угле  $\beta$  ( $\cos(\beta/2) \approx 1$ ;  $\sin(\beta/2) \approx \beta/2$ ) принимает вид

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = \frac{2 + \mu \cdot \beta}{2 - \mu \cdot \beta}, \quad (5)$$

а, например при  $\beta=180^\circ$  отношение  $S_{нб}/S_{сб}=-1$ .

Формула (4) при малом угле  $\beta$  дает

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = (1 + \mu \cdot \beta)^n,$$

а при  $\beta=180^\circ$   $S_{нб}/S_{сб}=\infty$ .

Получим отношение  $S_{нб}/S_{сб}$  с учетом того, что лента абсолютно гибкая, а колодка абсолютно жесткая, и которое давало бы приемлемые величины при граничных значениях  $\beta$  в отличие от формул (3) и (4).

С учетом, что лента абсолютно гибкая, общее горизонтальное давление на колодку составит  $P=(S_{нб}+S_{сб}) \cdot \sin(\beta/2)$  (рис. 1).

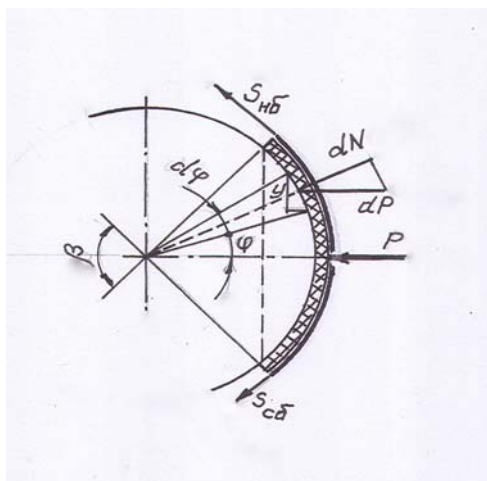


Рис. 1. Распределение сил прижатия одной колодки по дуге охвата  
 Нормальную величину давления колодки от силы  $P$  на вертикальную составляющую длиной  $y$  проекции дуги охвата

$$p = \frac{P}{2 \cdot R \cdot \sin(\beta/2)}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус тормозного шкива.

Поскольку вертикальная составляющая элементарного сектора имеет длину  $y = R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi$ , то давление на нее составит

$$dP = p \cdot y = \frac{P \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin(\beta/2)} \cdot d\varphi \quad (7)$$

и нормальная сила

$$dN = \frac{P \cdot \cos^2 \varphi}{2 \cdot \sin(\beta/2)} \cdot d\varphi. \quad (8)$$

Интеграл этого выражения в пределах угла охвата дает полную величину нормального давления колодки на шкив

$$P_H = \frac{P \cdot (\beta + \sin \beta)}{4 \cdot \sin \beta/2} = \frac{(S_{нб} + S_{сб}) \cdot (\beta + \sin \beta)}{4}. \quad (9)$$

С учетом этой зависимости формула (3) запишется в виде

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} = \left[ \frac{4 + \mu \cdot (\beta + \sin \beta)}{4 - \mu \cdot (\beta + \sin \beta)} \right]^n. \quad (10)$$

Предельные переходы, аналогичные для формул (3) и (4) дают: при  $\beta \rightarrow 0$   $S_{нб}/S_{сб} = (2 + \beta \cdot \mu)/(2 - \beta \cdot \mu)$  – совпадают с формулой (5), а при  $\beta \rightarrow 180^\circ$  (3,14 рад)  $S_{нб}/S_{сб} = (1 + \mu)/(1 - \mu)$ .

Как видно, предложенная формула (10) дает реальные отношения  $S_{нб}/S_{сб}$  при предельных переходах значений  $\beta$ .

Зависимости отношений  $S_{нб}/S_{сб}$ , полученных по приведенным выше формулам от количества колодок и коэффициента трения (общий угол охвата колодками тормозного шкива принят равным  $270^\circ$ ) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимости отношений  $S_{нб}/S_{сб}$ , полученные по формулам (2), (3), (4), (10), в зависимости от колодок  $n$  и коэффициента  $\mu$

Количество колодок, $n$	Угол охвата одной колодкой, $\beta^\circ$	$\mu$	0,1	0,2	0,3	0,4
		формулы				
3	90	(2)	1,60	2,57	4,11	6,59
		(3)	1,83	3,38	6,42	12,7
		(4)	1,73	2,74	4,10	5,83
		(10)	1,47	2,17	3,24	4,84
9	30	(2)	1,60	2,57	4,11	6,59
		(3)	1,62	2,63	4,28	6,95
		(4)	1,60	2,50	3,82	5,74
		(10)	1,59	2,52	3,98	6,35
13	20	(2)	1,60	2,57	4,11	6,59
		(3)	1,58	2,50	3,96	6,29
		(4)	1,57	2,43	3,70	5,56
		(10)	1,57	2,47	3,88	6,08

Для известных величин  $S_{нб}/S_{сб}$  из таблицы 1 найдем величины тормозных моментов  $M_T = S_{нб}(S_{нб}/S_{сб} - 1)R/\mu$ .

Величины тормозных моментов в зависимости от количества колодок и коэффициента трения при  $S_{нб}=1$  кНм;  $R=825$  мм приведены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимости величины тормозного момента (кНм) от количества колодок  $n$  и коэффициента трения  $\mu$  при  $S_{нб}=1000$  Н и  $R=0,825$  м

Количество колодок, $n$	Угол охвата одной колодкой, $\beta^\circ$	$M$	0,1	0,2	0,3	0,4
		формулы				
3	90	(2)	3,10	2,52	2,08	1,75
		(3)	3,74	2,91	2,33	1,91
		(4)	3,49	2,62	2,08	1,71
		(10)	3,20	2,23	1,90	1,64
9	30	(2)	3,10	2,52	2,08	1,75
		(3)	3,16	2,56	2,11	1,77
		(4)	3,09	2,48	2,03	1,70
		(10)	3,06	2,49	2,06	1,74
13	20	(2)	3,10	2,52	2,08	1,75
		(3)	3,03	2,48	2,06	1,74
		(4)	3,00	2,43	2,01	1,69
		(10)	3,00	2,46	2,04	1,72

Анализ полученных зависимостей и приведенных в таблицах данных расчетов позволяет сделать следующие выводы:

-применение формулы Эйлера для определения натяжений в набегающей и сбегавшей ветвях ленточно-колодочных тормозов является не корректным, поскольку колодки принимаются абсолютно жесткими на изгиб, а охватываемая их гибкая лента не контактирует со шкивом;

-формулы Эйлера Э., Костицина В.Г., Александрова М.П. и предлагаемая дают практически одинаковые величины тормозного момента на приведенном примере;

-в практических расчетах желательно применять полученную формулу для определения  $S_{нб}/S_{сб}$  поскольку она, в отличие от цитируемых, дает реальные значения при предельных величинах угла охвата колодкой тормозного шкива ( $0^\circ$  и  $180^\circ$ ).

### **Литература**

1.Тормозные устройства: Справочник/ Александров М.П., Лысяков А.Г., Федосеев В.М. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.

2.Вольченко Д.О. Обґрунтування методів та засобів покращення експлуатаційних параметрів стрічково – колодкових гальм бурових лебідок: Дис. канд. техн. наук. – Івано – Франківськ, 2004. – 207 с.

3.Крижанівський Е.І., Вольченко М.О., Вольченко Д.О. та ін. / Стрічково – колодкові гальма. – Івано – Франківськ: ІФН УНГ, 2004. – 230 с.

**Бондаренко Л. Н., Колбун В. В.**

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени ак. В. Лазаряна

**Жаковский А. Д.**

Днепропетровский орган по сертификации железнодорожного транспорта