

УДК 629.4

*Канд. техн. наук Ю.Я. Водяников,
инженеры Т.В. Шелейко,
Е.Г. Макеева,
С.М. Свистун (ГП «УкрНИИВ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ НАЖАТИЙ НАКЛАДОК НА ТОРМОЗНЫЕ ДИСКИ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Представил д-р техн. наук, профессор И.Э. Мартынов

Постановка проблемы. Важнейшей составной частью дискового тормоза является клещевой механизм, который состоит из тормозного цилиндра, системы рычагов и накладок. Тормозная сила создается нажатием накладок на тормозные диски.

Неравномерное распределение суммарных сил нажатия накладок на диски при торможении способствуют возникновению дополнительных сил как в продольном, так и поперечном направлениях. Величины этих сил влияют на прочность оси колесной пары, рамы тележки и элементов крепления клещевого механизма к раме, а также на кинематику движения колесных пар по рельсовому пути. Так, рассматривая колесную пару под воздействием тормозных сил F_1 и F_2 , расчетная схема которой представлена на

рис. 1, реакции в опорных узлах R_1 и R_2 определяются по формулам:

$$R_1 = \frac{F_1 \cdot (a + b) + F_2 \cdot a}{2 \cdot a + b}, \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{F_2 \cdot (a + b) + F_1 \cdot a}{2 \cdot a + b}. \quad (2)$$

Тормозная сила определяется произведением действительной силы нажатия накладки на диск (K_δ) на коэффициент трения ($\varphi_{тр}$):

$$F = K_\delta \cdot \varphi_{тр}. \quad (3)$$

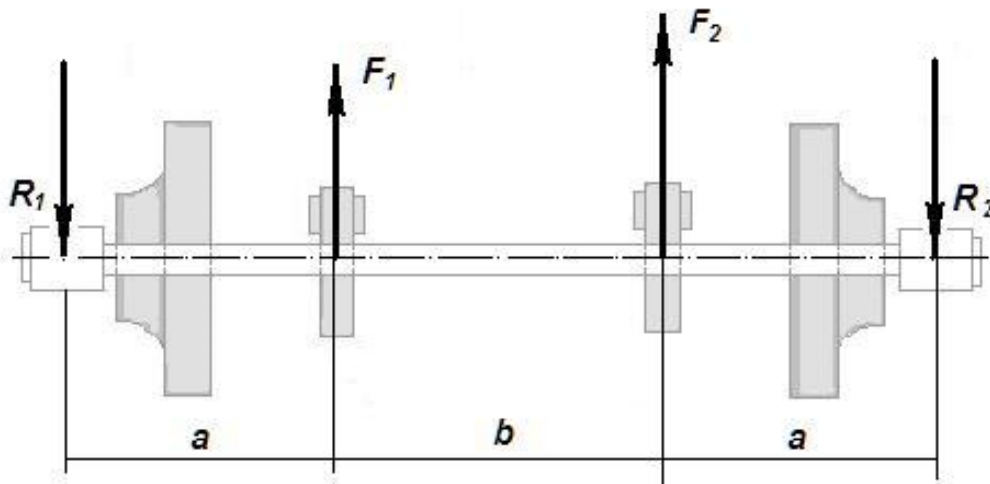


Рис. 1. Расчетная схема сил, приложенных к оси колесной пары при торможении

Если предположить, что $F_2 > F_1$, и ввести обозначения $\Delta F = F_2 - F_1$, то реакции в буксовых узлах запишутся как

$$R_1 = \frac{F_1 \cdot (2 \cdot a + b) + \Delta F \cdot a}{2 \cdot a + b} = F_1 + \frac{\Delta F \cdot a}{2 \cdot a + b}; \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{F_1 \cdot (2 \cdot a + b) + \Delta F \cdot (a + b)}{2 \cdot a + b} = F_1 + \frac{\Delta F \cdot a}{2 \cdot a + b} + \frac{\Delta F \cdot b}{2 \cdot a + b}. \quad (5)$$

Принимая коэффициент трения постоянным для всех накладок, основным фактором, влияющим на величину тормозной силы, будет действительная сила нажатия накладок на диск.

Из анализа формул (4) и (5), а также эпюр изгибающих моментов (рис. 2) следует, что неравномерное нажатие накладок на диски при торможении увеличивает нагруженность оси колесной пары, которая тем больше, чем больше разница тормозных сил, реализуемых на тормозных дисках.

Таким образом, вопросы, связанные с исследованиями распределения тормозных сил, действующих на диски при торможении, являются актуальными и

позволяют получить уточненные характеристики прочности колесной пары, узлов крепления клещевых механизмов и элементов рамы пассажирской тележки с дисковыми тормозами.

Изложение основного материала.

Исследования сил нажатий накладок проводились на пассажирском вагоне, оборудованном дисковыми тормозами, характеристики клещевых механизмов которых представлены в табл. 1.

Для измерения сил нажатия накладок использовались силоизмерительные датчики, причем на каждую накладку устанавливалось по два датчика (рис. 3), схема измерения показана на рис. 4.

Рухомий склад залізниць

Фактическая величина сил нажатия накладок на диски определялась путем реализации экстренного пневматического торможения в стационарных условиях.

Результаты измерений записывались на электронный носитель в виде индикаторных диаграмм. Всего было проведено 25 торможений.

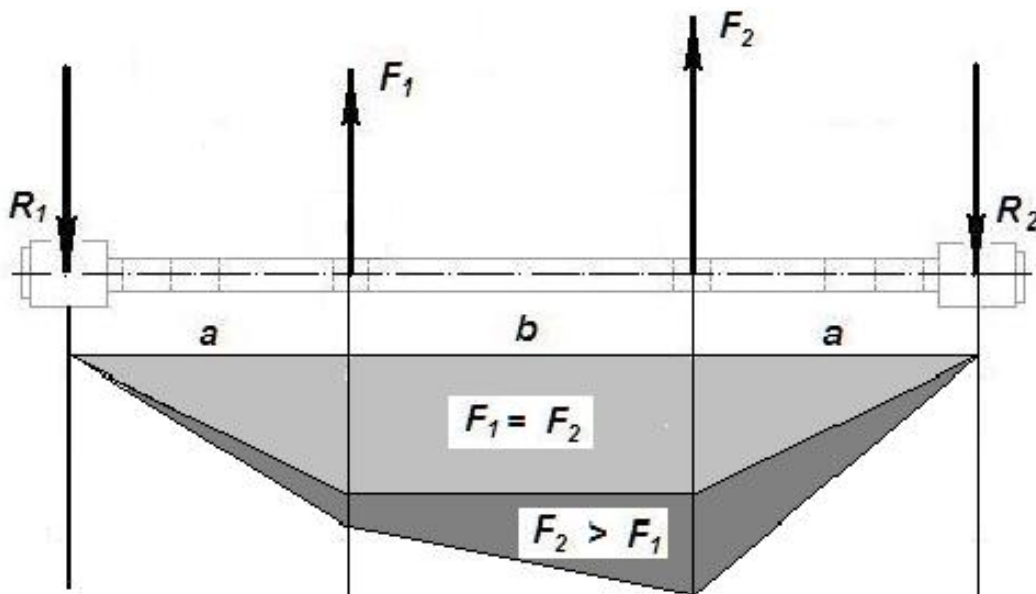


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов при действии тормозных сил

Таблица 1

Характеристики клещевого механизма

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Значение
Эффективная площадь поршня тормозного цилиндра (тип 15)	$F_{ц}$	см ²	97
Усилие возвратной пружины	$P_{пр}$	Н	630
Передаточное число тормозного блока	$i_{пр}$	–	11,41
КПД клещевого механизма	$\eta_{км}$	–	0,97
Количество тормозных накладок, действующих на диск	m	–	2
Общее количество тормозных накладок	$\sum m$	–	16
Радиус трения тормозного диска	r	мм	233
Диаметр колеса по кругу катания (нового)	D_{max}	мм	958

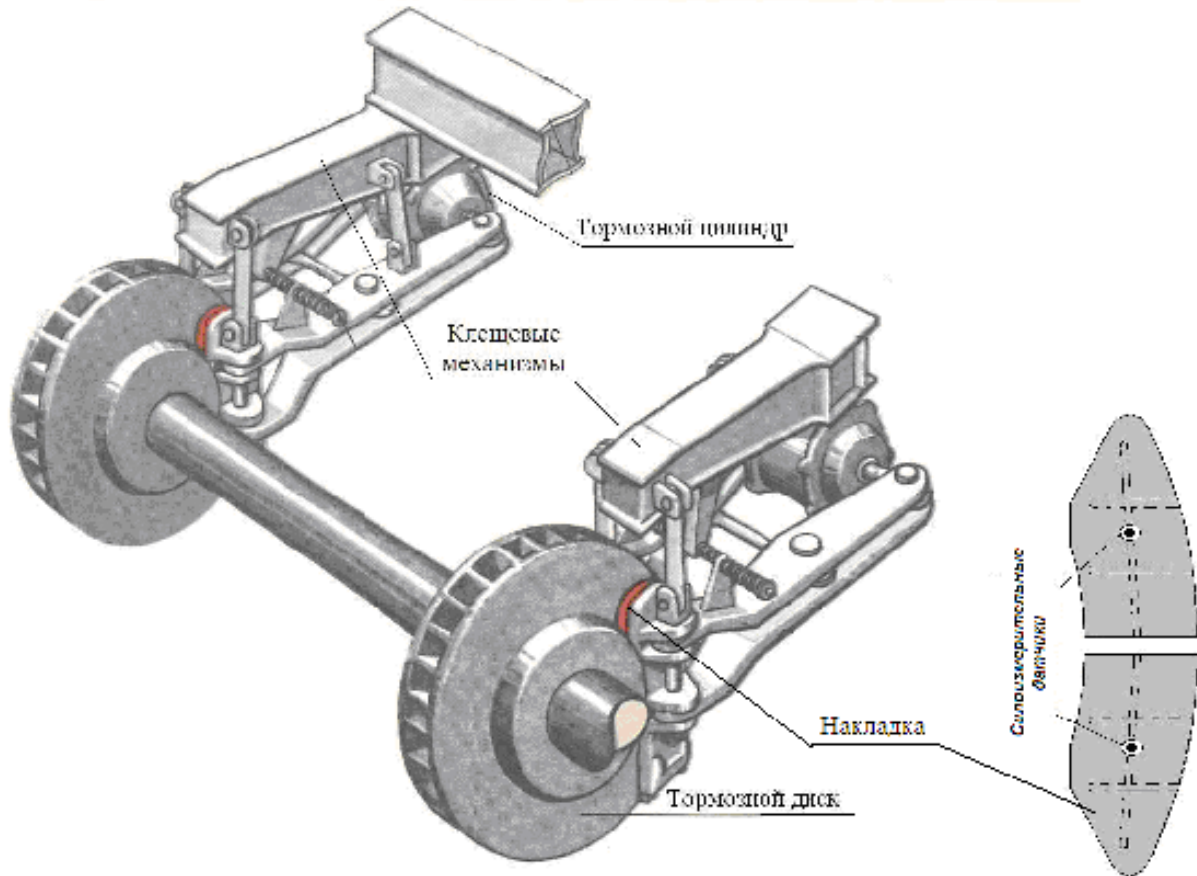


Рис. 3. Размещение датчиков на накладке

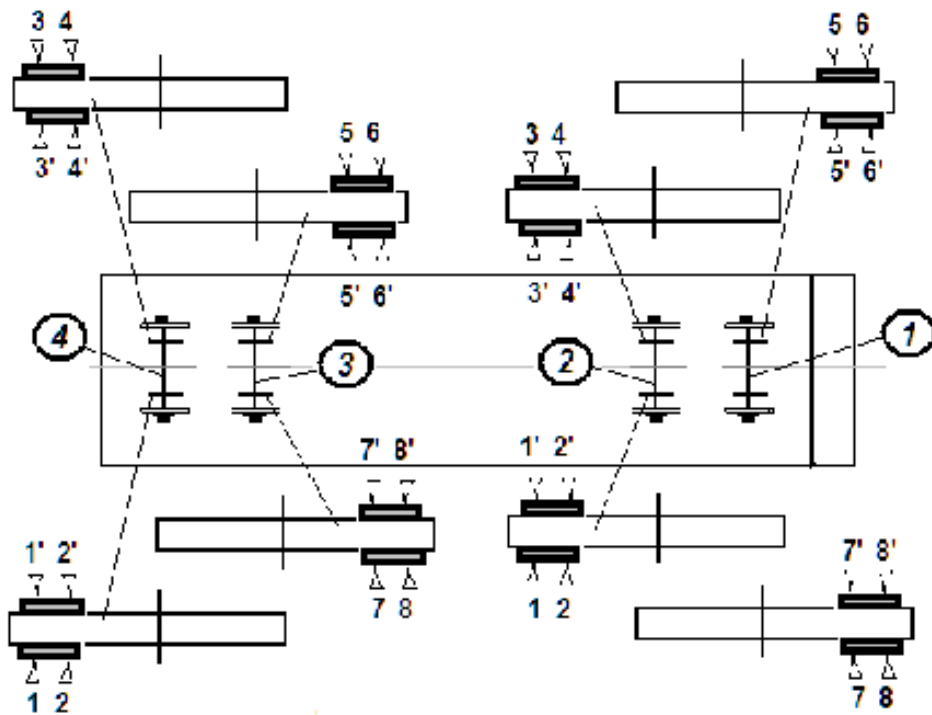


Рис. 4. Схема установки силоизмерительных датчиков

Предварительный анализ диаграмм (рис. 5-6) показал, что силы нажатий накладок на диски распределяются неравномерно (рис. 7, табл. 2, 3), а их статистическое распределение подчиняется нормальному закону, для которого функция и плотность распределения имеют вид [1]

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx; \quad (6)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (7)$$

где a и σ^2 – математическое ожидание и дисперсия случайной величины x .

Величины сил нажатия накладок на диски при установившихся давлениях в тормозных цилиндрах подвергались статистической обработке с целью отсева значений, которые не попадают в статистическую закономерность.

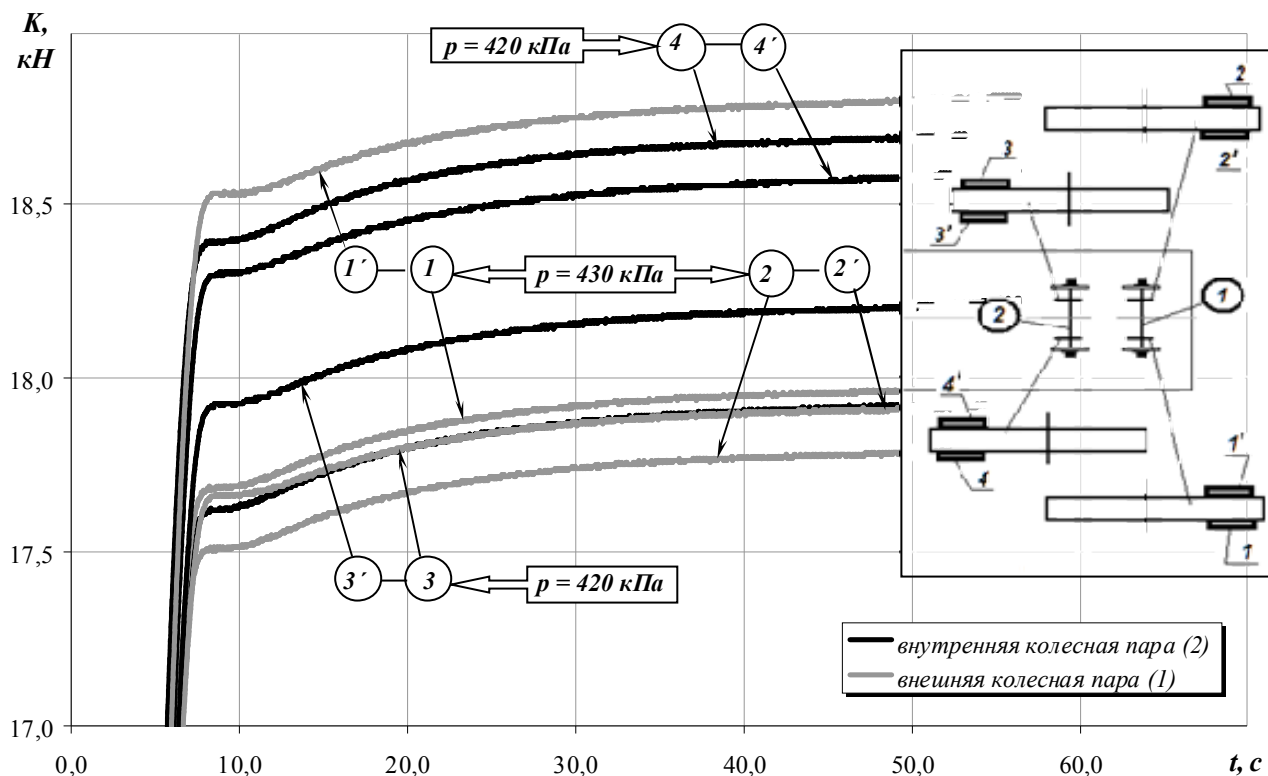


Рис. 5. Диаграмма сил нажатий накладок, расположенных с внешних (1-4) и внутренних (1'-4') сторон дисков на тележке котлового конца вагона

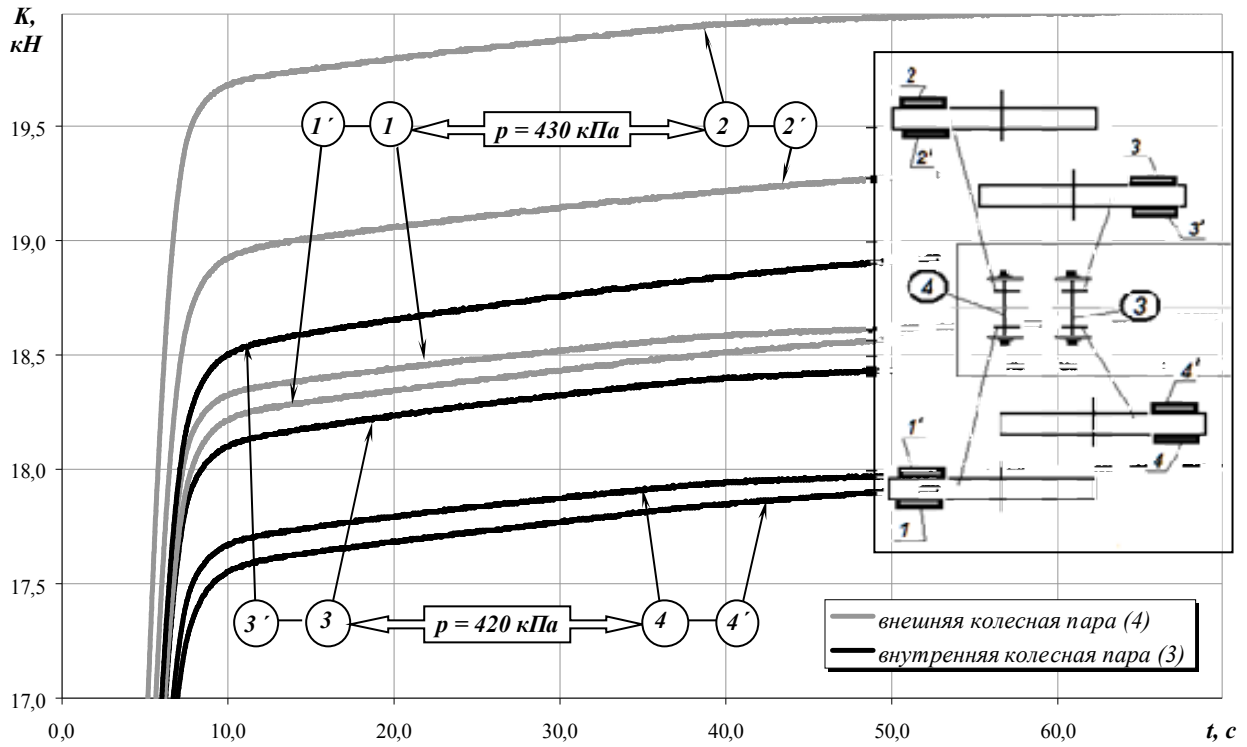


Рис. 6. Диаграмма сил нажатий накладок, расположенных с внешних (1-4) и внутренних (1'-4') сторон дисков на тележке нектлового конца вагона

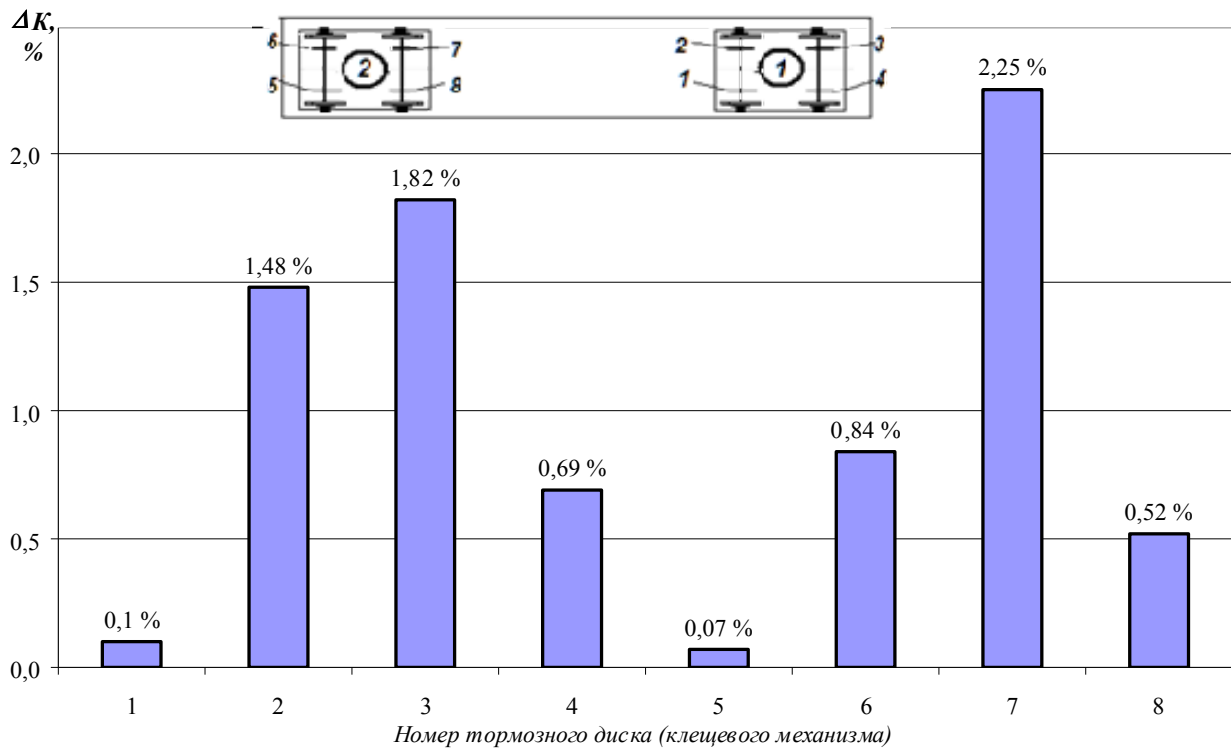


Рис. 7. Различие между силами нажатий накладок на внешнюю и внутреннюю поверхности тормозного диска

Таблица 2. Статистические характеристики силы нажатия одной накладки на диск

Характеристика	Давление в ТЦ, кПа	Номер клещевого механизма							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Матожидание силы нажатия накладки, кН	380	15,330	15,881	16,144	15,681	16,295	17,234	15,749	15,080
	400	16,303	16,889	17,168	16,677	17,330	18,328	16,712	16,038
	420	17,277	17,897	18,193	17,672	18,364	19,422	17,748	16,995
Дисперсия, кН	380	±0,076	±0,109	±0,169	±0,081	±0,051	±0,099	±0,175	±0,041
	400	±0,081	±0,115	±0,180	±0,086	±0,054	±0,105	±0,157	±0,043
	420	±0,085	±0,122	±0,191	±0,091	±0,057	±0,112	±0,197	±0,046
Среднеквадратическое отклонение, кН	380	0,116	0,166	0,273	0,123	0,078	0,152	0,296	0,062
	400	0,123	0,177	0,290	0,131	0,083	0,162	0,265	0,066
	420	0,131	0,187	0,308	0,139	0,088	0,171	0,334	0,070
Коэффициент вариации	380	0,76	1,05	1,69	0,79	0,48	0,88	1,88	0,41
	400	0,76	1,05	1,69	0,79	0,48	0,88	1,59	0,41
	420	0,76	1,05	1,69	0,79	0,48	0,88	1,88	0,41



Таблиця 3

Сравнение сил нажатий накладок при давлении в тормозном цилиндре 400 кПа

Обозначение (№)			Суммарная сила нажатий накладок, кН			Расхождение, %, по		
диска	оси	тележки	диска	оси	тележки	дискам	осям	тележкам
1	1	1	32,607	67,742	134,164	3,59	2,04	1,85
2			33,778					
3	2		34,337	66,385		2,95		
4			33,354					
5	3	2	34,660	65,634	136,651	5,76		
6			36,657					
7	4		33,424	71,316		4,20	8,66	
8			32,075					

Случайная величина отсеивалась, если для нее выполнялось неравенство [2]

$$\frac{a_i^{\max(\min)} - m}{s} > T_{p,n}, \quad (8)$$

где $a_i^{\max(\min)}$ – максимальное (минимальное) значение из выборочной совокупности случайных величин;

m – математическое ожидание измеренных значений;

s – стандартное отклонение;

$T_{p,n}$ – критическое значение T_p (p – процентная точка нормированного выборочного отклонения), обусловленное

критическим значением распределения Стьюдента $d_{p,n-2}$ [2]

$$T_{p,n} = \frac{d_{p,n-2} \sqrt{n-1}}{\sqrt{n-2 + d_{p,n-1}^2}}, \quad (9)$$

где $d_{p,n-2}$ – процентные точки T -распределения Стьюдента.

Доверительные интервалы для математического ожидания определялись за формулой [1]

$$\bar{x} - z_{p_1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} < a < \bar{x} - z_{p_2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}, \quad (10)$$

где \bar{x} – выборочное среднее из n независимых испытаний;

z_p – квантиль нормируемого нормального распределения.

Коэффициент вариации определялся по формуле [1]:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Плотности распределения сил нажатий накладок приведены на рис. 8-10.

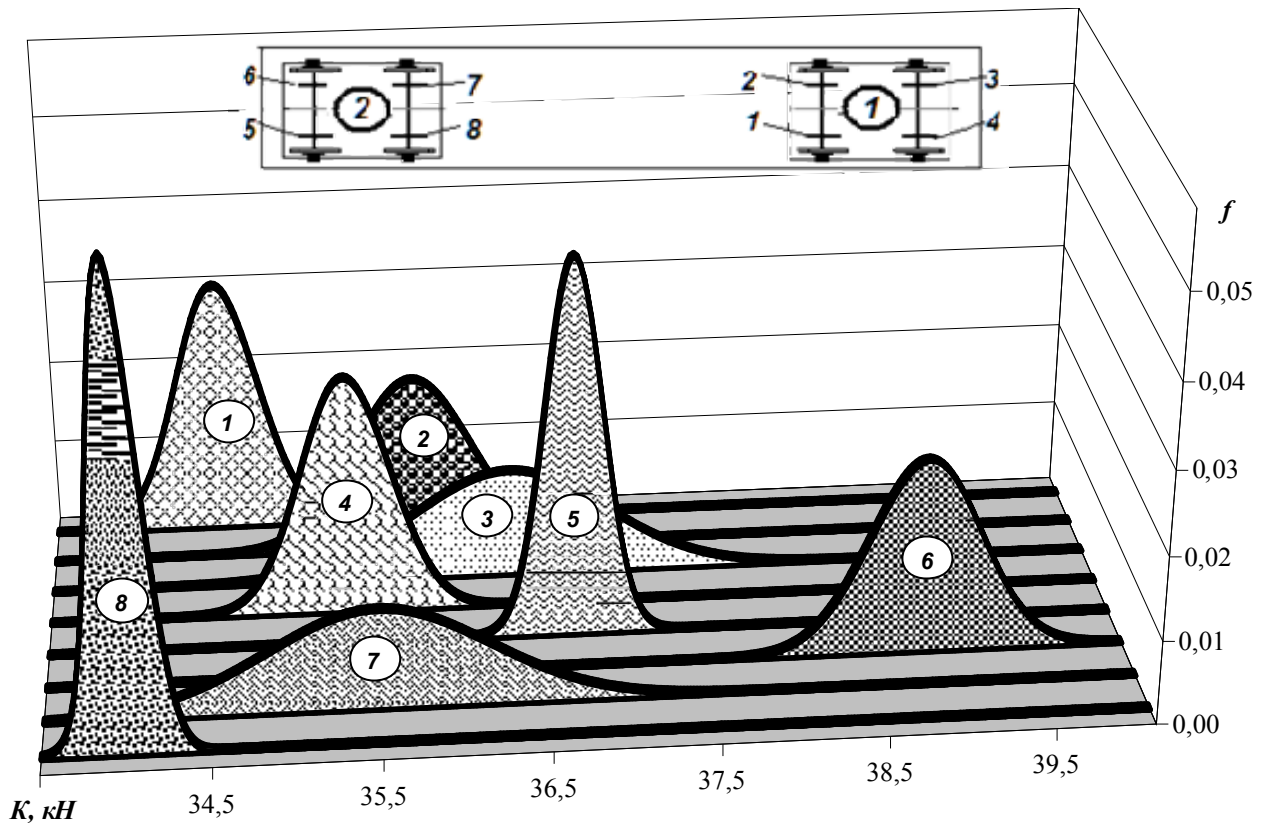


Рис. 8. Плотности распределений суммарных сил нажатий накладок на диски при давлении в тормозном цилиндре 400 кПа (1-8 – тормозные диски)

Выводы. На основании выполненных исследований установлено:

- силы нажатия накладок на диски при торможении распределяются неравномерно;

- максимальное расхождение суммарных сил нажатия накладок на диск для исследуемой тормозной системы в пределах одной оси составило 5,76%, а между колесными парами – 8,66 %;

- максимальная величина неравномерного нажатия накладок на внешнюю и внутреннюю поверхности тормозного диска, обусловленная, прежде всего, несоосностью диска и клещевого механизма, составила 2,25 %;

- для уточненной оценки прочности колесной пары и рамы тележки необходимо учитывать неравномерность нажатия накладок на диски.

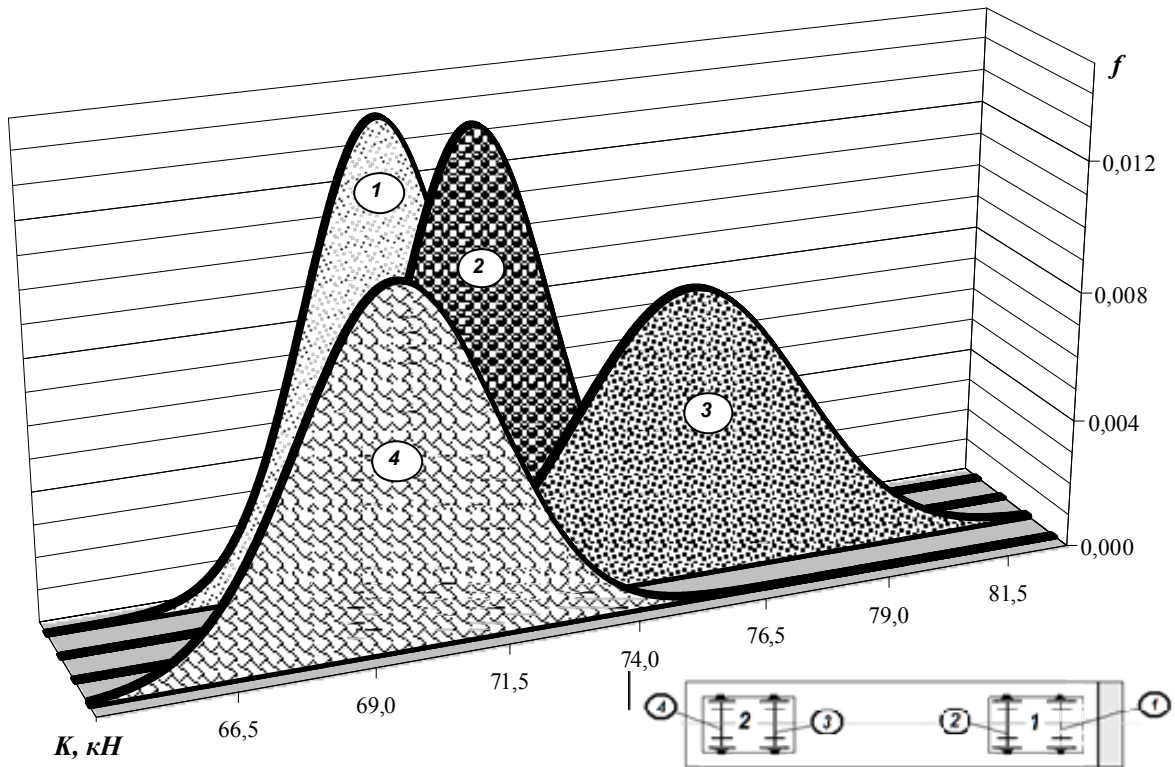


Рис. 9. Плотности распределений суммарных сил нажатий накладок на диски одной колесной пары при давлении в тормозном цилиндре 400 кПа

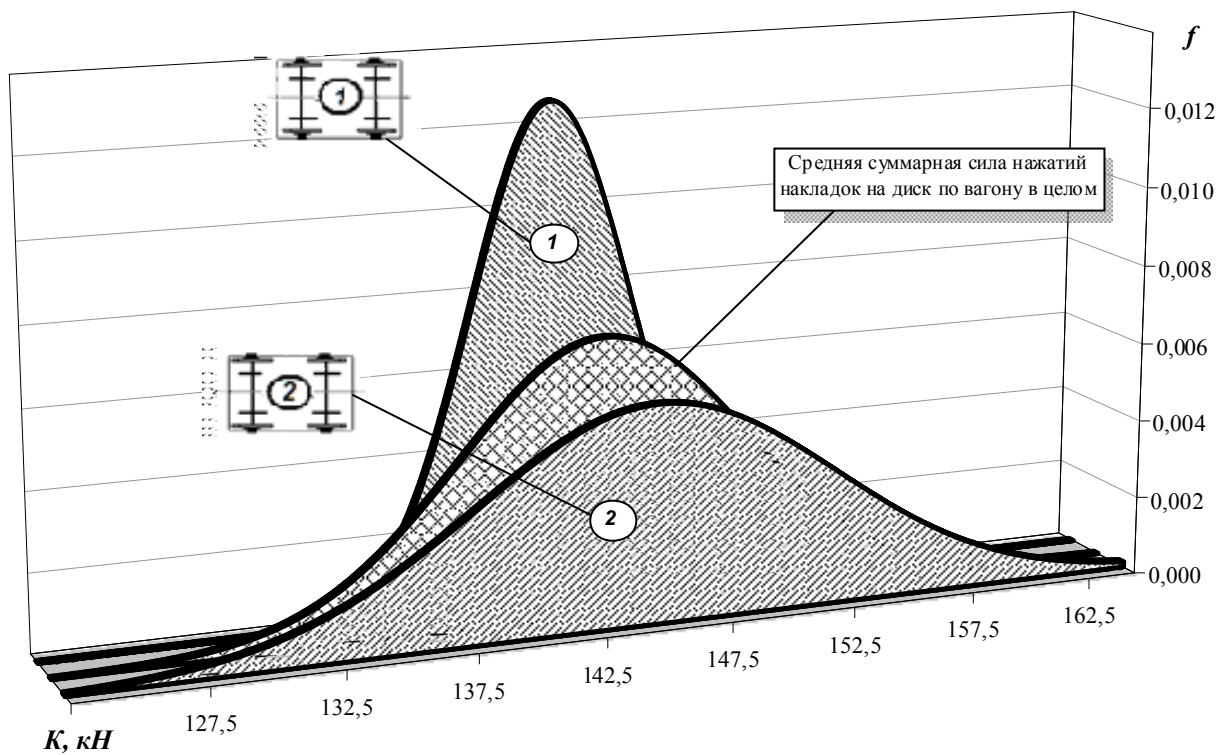


Рис. 10. Плотности распределений суммарных сил нажатий накладок на диски одной тележки при давлении в тормозном цилиндре 400 кПа

Список литературы

1. Степанов, М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст]: справочник / М.Н. Степанов. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
2. Зак Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л. Зак. – М.: Статистика, 1976. – 258 с.

Ключевые слова: сила нажатия, тормозной диск, накладка, дисковый тормоз, пассажирский вагон.

Аннотации

Показано, що нерівномірне натиснення накладок на гальмівні диски збільшує навантаженість осі колісної пари під час гальмування пасажирського вагона. Отримано розподіл сил натиснень, що діють на гальмівні диски з боку накладок, отримані їх статистичні характеристики.

Показано, что неравномерное нажатие накладок на тормозные диски увеличивает нагруженность оси колесной пары при торможении пассажирского вагона. Получены распределения сил нажатий, действующих на тормозные диски со стороны накладок, получены их статистические характеристики.

It is shown that unequal pressing pad on the brake disks increases the encumbrance wheel pair when the passenger wagon are brake. Investigated the distribution of press powers acting on the brake discs by the pads, received their statistical characteristics.