

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ТОРМОЗНОГО МОМЕНТА

Подригало М.А., Волков В.П., Степанов В.Ю.

Получены инвариантные уравнения тормозного момента многодискового и барабанных тормозных механизмов.

Получено обобщенное уравнение тормозного момента для различных типов фрикционных пар [1]

$$M_m = P_{np} \cdot R_z \cdot Q_1 \{ \exp[Q_2 \mu (1 - Q_3)] - \exp(-Q_2 \mu Q_3) \}, \quad (1)$$

где P_{np} – приводное усилие, создающее тормозной момент; R_z – габаритный радиус ротора тормозного механизма; μ – коэффициент трения между элементами фрикционной пары; Q_1 , Q_2 – конструктивные коэффициенты, зависящие от геометрических параметров фрикционных пар (см. таблицу 1); Q_3 – коэффициент, зависящий от знака обратной связи в тормозном механизме; при положительном серводействии $Q_3 = 0$, а при отрицательном – $Q_3 = 1$.

Таблица 1 – Конструктивные коэффициенты

Тип тормозного механизма	Q_1		Q_2	
	Расчетная формула	Диапазон численных значений	Расчетная формула	Диапазон численных значений
Ленточный	1	1	α_n	0...6,28
Дисковый	$\frac{1}{\mu_1 (K_R + 1)}$	2,5...∞	$\mu_1 z \frac{(K_R + 1)^2}{2K_R}$	0...2,67
Барабанный	$\frac{a + c}{e}$	2,0...∞	$\frac{e}{c}$	0...1,00

В таблице 1 представлены величины: α_n – угол обхвата ленты; μ_1 – коэффициент трения в направляющих тормозных дисков; z – число поверхностей трения; K_R – соотношение наружного и внутреннего радиусов трения тормозных дисков; a , c , e – геометрические параметры барабанного тормоза [2].

Для тормозных механизмов с несколькими параллельно работающими фрикционными парами обобщенное уравнение тормозного момента примет вид

$$M = \sum_{j=1}^{m_n} P_{npj} \cdot R_{cj} \cdot Q_{1j} \{ \exp[Q_{2j}\mu_j(1-Q_{3j})] - \exp(-Q_{2j}\mu_j Q_{3j}) \}, \quad (2)$$

где m_n – число параллельно работающих фрикционных пар.

Следует отметить [1], что многодисковые тормоза могут иметь только отрицательное серводействие ($Q_3 = 1$).

Проведем оценку стабильности тормозного момента (1) с

использованием в качестве критерия показателя чувствительности

$$\frac{\partial M_m}{\partial \mu} = P_{np} \cdot R_c \cdot Q_1 \{ Q_2(1-Q_3) \exp[Q_2\mu(1-Q_3)] + Q_2 Q_3 \exp(-Q_2\mu Q_3) \}. \quad (3)$$

Преобразовав уравнение (3) с учетом (1), получим

$$\frac{\partial M_m}{\partial \mu} = M_m \cdot Q_2 \left[\frac{1}{1 - \exp(-Q_2\mu)} - Q_3 \right]. \quad (4)$$

При $\frac{\partial M_m}{\partial \mu} = 0$ тормозной механизм будет обладать идеальной стабильностью. Это условие можно выполнить при равенстве нулю правой части (4), что реализуется при $Q_3 = 1$ и $Q_2 = \infty$.

Введем функцию

$$F_1 = Q_2 \left[\frac{1}{1 - \exp(-Q_2\mu)} - Q_3 \right]. \quad (5)$$

В этом случае выражение (1) примет вид

$$\frac{\partial M_m}{\partial \mu} = M_m \cdot F_1. \quad (6)$$

Чувствительность тормозного момента к изменению коэффициента трения μ при заданном тормозном моменте M_m определяется безразмерной функцией F_1 . Аналогично введем безразмерную функцию для определения тормозного момента

$$F_2 = \exp[Q_2\mu(1-Q_3)] - \exp(-Q_2\mu Q_3), \quad (7)$$

что позволит записать уравнение тормозного момента в виде

$$M_m = P_{np} \cdot R_c \cdot Q_1 \cdot F_2. \quad (8)$$

Функции F_1 и F_2 зависят от коэффициентов Q_2 и Q_3 , а также от μ . На рисунке 1 изображены зависимости $F_1 = F_1(Q_2)$ и $F_2 = F_2(Q_2)$ для тормозных механизмов с положительным ($Q_3 = 0$) и отрицательным ($Q_3 = 1$)

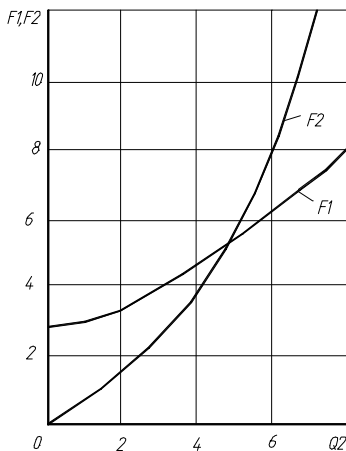


Рисунок 1 – Зависимости $F_1 = F_1(Q_2)$ и $F_2 = F_2(Q_2)$; 1 – положительная обратная связь; 2 – отрицательная обратная связь

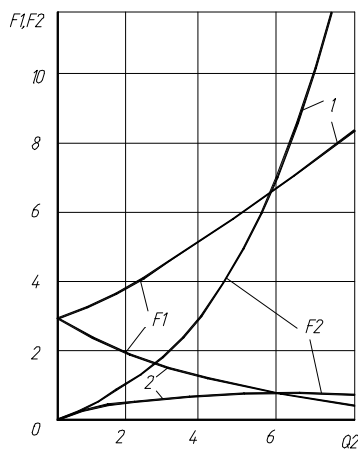


Рисунок 2 – Зависимости $F_1(Q_2)$ и $F_2(Q_2)$ для барабанного тормоза с равными приводными усилиями и одинаковыми геометрическими параметрами тормозных колодок при $\mu = 0,35$

серводействием при $\mu = 0,35$. Анализ графиков, показанных на рисунке 1, с учетом значений Q_2 , приведенных в таблице 1, приводит к, казалось бы, парадоксальному выводу о том, что наибольшей стабильностью тормозного момента обладают ленточные тормоза с отрицательной обратной связью (с приводом на набегающую ветвь ленты).

Барабанные тормоза одновременно могут иметь фрикционные пары как с положительным, так и с отрицательным серводействием. Проведем анализ стабильности барабанного тормозного механизма, имеющего заклиниваемую (активную) и отжимную (пассивную) колодки. При этом примем, что привод тормоза гидравлический (тормоз с равными приводными усилиями [2]). Тормозные колодки имеют одинаковую геометрию, т.е. коэффициенты Q_1 и Q_2 для обеих колодок одинаковы. Безразмерные функции в этом случае примут вид:

$$F_1 = Q_2 \frac{1 - \exp(-2Q_2\mu)}{1 - \exp(-2Q_2\mu)}, \quad (9)$$

$$F_2 = \exp(Q_2\mu) - \exp(-Q_2\mu). \quad (10)$$

Графики зависимостей (9) и (10) при $\mu = 0,35$ изображены на рисунке 2. Сравнительный анализ графиков, показанных на рисунках 1, 2, показывает, что тормоз с одной активной и одной пассивной колодками обладает меньшей чувствительностью к уменьшению коэффициента трения μ , чем тормоз с двумя активными колодками

Предложенная методика оценки стабильности тормозных механизмов с помощью обобщенного уравнения тормозного момента позволяет на стадии проектирования автомобилей и других колесных машин производить выбор рационального типа тормозных механизмов и оптимизацию их геометрических параметров. Например, анализ данных таблицы 1 показывает, что наиболее стабильными являются ленточные тормоза с отрицательной обратной связью, затем следуют многодисковые тормоза, поскольку имеют наибольшие значения Q_2 . Самыми нестабильными являются барабанные тормозные механизмы. Если обеспечить требуемый тепловой режим тормозных механизмов, то можно прогнозировать появление на колесных машинах ленточных тормозов с отрицательным серводействием.

Библиография

- 1 Подригало М.А. Характеристики многодискового тормоза трактора с учетом трения в направляющих / М.А. Подригало, Е.М. Гецович // Тракторная энергетика в растениеводстве. Сер. Тракторостроение. — Харьков, 1999. — С. 285–292.
- 2 Бухарин Н.А. Автомобили / Н.А. Бухарин, В.С. Прозоров, М.М. Щукин. — Л.: Машиностроение, 1973. — 504 с.

Поступила в редакцию 29.11.2001 г.