

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №4 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN415.pdf>

DOI: 10.15862/33TVN415 (<http://dx.doi.org/10.15862/33TVN415>)

УДК 621.816

Бойко Николай Иванович

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Россия, Ростов-на-Дону¹

Доктор технических наук, профессор

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_refs.asp?authorid=60671

Чукарин Александр Николаевич

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Россия, Ростов-на-Дону

Доктор технических наук, профессор

Вяликов Иван Леонидович

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

старший преподаватель кафедры «Приборостроение»

Кандидат технических наук

E-mail: vialikov@mail.ru

Гиль Надежда Алексеевна

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Ведущий инженер кафедры «Приборостроение»

E-mail: gilka_77@mail.ru

Исследование нагрузочной способности адаптивных фрикционных муфт

¹ 344000 Россия, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1

Аннотация. В статье исследуются нагрузочные способности адаптивных фрикционных муфт, при одинаковых параметрах кроме величины коэффициента усиления, точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт второго поколения с отдельным силовым замыканием выше, чем точность срабатывания базового варианта адаптивных фрикционных муфт второго поколения. Установлено, что точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт с отдельным силовым замыканием уменьшается как при увеличении, так и при уменьшении величины коэффициента усиления от значения, при котором вращающие моменты муфты при граничных значениях коэффициента трения равны друг другу. При увеличении коэффициента усиления точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт выше, чем при его уменьшении. При реальном смещении максимума вращающего момента в область, соответствующую значениям коэффициента трения, близким к минимальному, точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт сопоставима с точностью срабатывания муфты, нагрузочная кривая которой имеет максимум, соответствующий значению коэффициента трения, принадлежащему интервалу его изменения, кроме граничных значений, при равенстве друг другу вращающих моментов на границах интервала. При одинаковых значениях коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт с отдельным силовым замыканием и базового варианта адаптивных фрикционных муфт второго поколения точность срабатывания муфт и нагрузочная способность одинаковы. При увеличении числа ведущих пар трения основной фрикционной группы нагрузочная способность адаптивных фрикционных муфт с отдельным силовым замыканием незначительно уменьшается, при этом точность срабатывания существенно увеличивается по сравнению с базовым вариантом адаптивных фрикционных муфт второго поколения.

Ключевые слова: фрикционная муфта; износ; эксплуатационный срок; предохранительные элементы; инновационность; химическое воздействие.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бойко Н.И., Чукарин А.Н., Вяликов И.Л., Гиль Н.А. Исследование нагрузочной способности адаптивных фрикционных муфт // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/33TVN415

Адаптивные фрикционные муфты (АФМ) с отдельным силовым замыканием основной фрикционной группы (ОФГ) и дополнительной фрикционной группы (ДФГ) обладает более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом АФМ второго поколения. Однако точность срабатывания является не единственным эксплуатационным показателем предохранительной муфты, в том числе АФМ.

Важным эксплуатационным показателем АФМ является нагрузочная способность. Вопрос об оценке нагрузочной способности исследуемой АФМ противоречив, поскольку, как правило, повышение точности срабатывания отрицательно влияет на нагрузочную способность [7, 8].

Имеется возможность увеличения числа пар трения ДФГ без потери точности срабатывания, как это наблюдается у базового варианта АФМ второго поколения. Очевидно, что увеличение числа пар трения ДФГ приводит к повышению нагрузочной способности муфты.

Оценку нагрузочной способности исследуемой АФМ будем производить посредством сопоставления аналитических форм представления вращающих моментов муфт. При проведении оценки будем учитывать только номинальные вращающие моменты муфт, которыми они обладают при минимальных значениях коэффициента трения [1].

Для сопоставления нагрузочной способности исследуемой муфты и базового варианта АФМ второго поколения запишем выражение для вычисления номинальной величины вращающего момента последней [2]:

$$T_{н1} = F_{н} R_{ср} f_{\min} \frac{z + 1 - C^* f_{\min}}{1 + (z - z_2) C^* f_{\min}}, \quad (1)$$

где C^* - коэффициент усиления (КУ) базового варианта АФМ второго поколения.

Остальные обозначения параметров в выражении (1) см. выше.

Заменяем параметр f на f_{\min} , примем $z_1=1$ (как в базовом варианте АФМ второго поколения) и, используя правые части соотношения (1) в неравенстве $T_{н} > T_{н1}$, получим:

$$C < \frac{[z(z - z_2) + 1]C^* f_{\min} + (1 - n)[1 + (z - z_2)C^* f_{\min}] - 1}{f_{\min} \{ (z - z_2)(z + 1 - C^* f_{\min}) + z_2(1 - n)[1 + (z - z_2)C^* f_{\min}] \}}. \quad (2)$$

Формула (2) показывает ограничение сверху величины КУ C , при выполнении выше поставленного условия.

График функции $C(n)$, построенный по зависимости (2), показан на рис. 1 (кривая 1). График построен по следующим исходным данным: $z=8$, $z_2=6$, $f_{\min}=0,1$. Величина КУ C^* вычислялась при $z_1=1$ (согласно принятому выше условию, по которому достигается наибольшая точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения) и при $f_{\max}=0,8$: она составила $C^*=1,25$.

Кривая 2 на рис. 1 построена для контроля соответствия величины КУ C предельно допустимому ее значению. Кривая 3 отражает зависимость (2) и построена при значениях $z=4$, $z_1=2$.

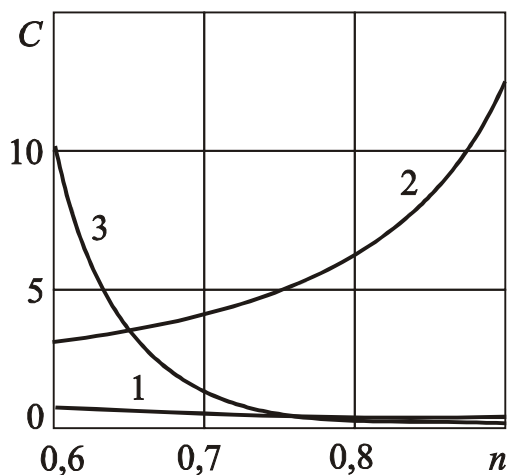


Рис. 1. Графики зависимости $C(n)$

Анализ графиков показывает:

- с увеличением коэффициента n величина КУ C уменьшается (кривые 1 и 3);
- с уменьшением величин параметров z и z_2 величина КУ C также уменьшается (кривая 3);
- для принятых при построении кривых 1 и 3 исходных данных (см. выше) величины КУ C , необходимые для выполнения неравенства $T_{II} > T_{III}$, удовлетворяют условию $C < C_1$.

Поскольку требуемые значения КУ не только удовлетворяют поставленному условию $C < C_1$, но и значительно меньше величины КУ C^* , принятой при построении графиков, необходима оценка точности срабатывания исследуемой АФМ. Это связано с тем, что при уменьшении величины КУ C снижается точность срабатывания АФМ [2,3,4].

Графики, отражающие точность срабатывания исследуемой АФМ при ограничении величины КУ C , обеспечивающем более высокую нагрузочную способность муфты, показаны на рис. 2. Кривая 1 отражает зависимость при значениях КУ C согласно кривой 1 на рис. 1, кривая 2 - при значениях КУ C согласно кривой 3 на том же рисунке.

Кривые 1 и 2 на рис. 2 построены по соотношению (2) с использованием тех же исходных данных, что и при построении кривых 1 и 3 на рис. 1. При построении кривых 1 и 2 учитывалось варьирование величины коэффициента n согласно данным рис. 1.

Анализ графиков, изображенных на рис. 2, показывает:

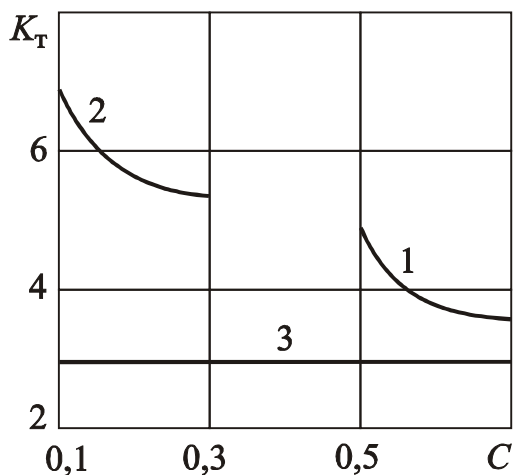


Рис. 2. Графики зависимостей $K_T(C)$

- точность срабатывания АФМ увеличивается по мере возрастания величины КУ C ;
- вычисленные значения КУ C обеспечивают точность срабатывания исследуемой АФМ, меньшую, чем точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения. Об этом свидетельствует рассмотрение кривых 1 и 2 и прямой 3, отражающей точность срабатывания последней из упомянутых муфт [5,6,7].

Прямая 3 построена по тем же исходным данным, что и кривые 1 и 2, при $C^* = 1,25$. В данном случае нагрузочная способность исследуемой АФМ равна нагрузочной способности базового варианта АФМ второго поколения (при указанных на рис. 1. значениях КУ C) и выше - при значениях КУ C , меньших, чем значения, принадлежащие кривым 1 и 2.

Как было указано выше, резерв повышения нагрузочной способности исследуемой АФМ заключается в увеличении числа пар трения z_1 ДФГ. При этом величина КУ C также может быть увеличена посредством приближения к единице величины коэффициента n .

Однако прежде установим возможность реализации неравенства $T_n > T_{n1}$ при одном и том же значении КУ C для обеих муфт и при $z_1 = 1$. Приравняв друг другу правые части соотношений (1) и (2) при условии $C = C^*$ и $f = f_{\min}$ в соотношении (1) и выделив в числителях полученного равенства неидентичные одна другой части (знаменатели левой и правой части равенства идентичны друг другу), получим:

$$1 - Cf_{\min} = (1 - n)(1 - z_2 Cf_{\min}). \quad (3)$$

Предполагаемое равенство (2) в действительности неосуществимо, поскольку даже при $z_2 = 1$ его правая часть меньше левой части из-за множителя $1 - n$ (при $1 > n > 0$). Следует отметить, что структура правой части равенства (3), отличающаяся от исходного многочлена в числителе соотношения (1), приведена к данному виду вследствие необходимости получения того же знака, что и перед двучленом, стоящим в левой части равенства (2).

Поскольку правая часть равенства (2) относится к исследуемой АФМ, можно сделать вывод о том, что при равных друг другу величинах КУ C для сравниваемых АФМ нагрузочная способность исследуемой АФМ ниже при любых реальных значениях параметра z_2 [3,4].

Изложенное выше исследование нагрузочной способности АФМ предпринято потому, что результаты анализа графиков, изображенных на рис. 2, отражают лишь частный пример, составленный на конкретных исходных данных.

Рассмотрим вариант АФМ, когда $z_1 > 1$. В этом случае в правой части равенства (3) появляется множитель z_1 , поэтому нагрузочная способность исследуемой АФМ будет выше, чем нагрузочная способность базового варианта АФМ, при условии

$$z_1^* > \frac{1 - C^* f_{\min}}{(1 - n)(1 - z_2 C f_{\min})}. \quad (4)$$

В соотношении (4) вновь введен параметр C^* вместо C .

В базовом варианте АФМ принято $z_1 = 1$, поскольку с увеличением z_1 уменьшается предельная величина КУ C^* и, соответственно точность срабатывания муфты.

График функции $z_1^*(C)$, построенный по формуле (5), приведен на рис. 3 (кривая 1). График построен по следующим исходным данным: $C^* = 1,25$, $f_{\min} = 0,1$, $z_2 = 1$, $n = 0,6$. Кривая 2 на рис. 3 отображает предельно допустимое значение параметра z_1 , с учетом предельной величины КУ C , и построена по зависимости

$$z_1 = \frac{1}{(1 - n) C f_{\max}}, \quad (5)$$

вытекающей из соотношения (2).

Анализ кривых 1 и 2 на рис. 3 показывает, что при принятых исходных данных условие $z_1^* \leq z_1$ по соотношениям (4) и (5) не выполняется: кривая 1 располагается выше кривой 2 при всех значениях КУ C (в пределах оси абсцисс). Следовательно, в данном случае нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть больше, чем у базового варианта АФМ второго поколения из-за ограничения величины параметра z_1 [2,5].

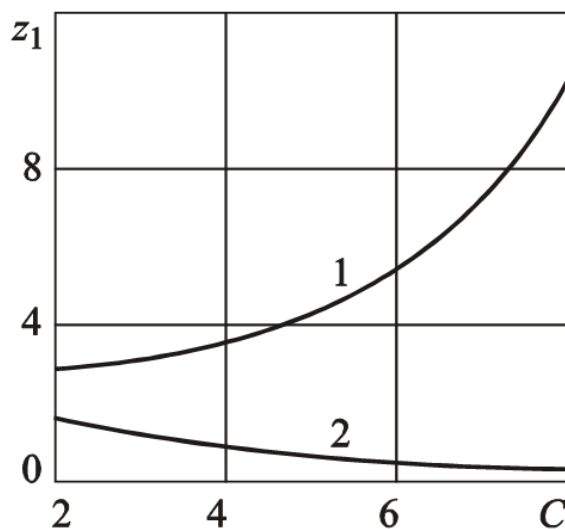


Рис. 3. Графики зависимости $z_1(C)$

Для обобщения полученного результата и исключения влияния на последний параметра n составим следующее выражение, основанное на равенстве друг другу правых частей соотношений (4) и (5):

$$C = \frac{1}{f_{\max} - C^* f_{\min} f_{\max} + f_{\min}}. \quad (6)$$

Учитывая, что в выражении (6) $C^* = 1/f_{\max}$, приходим к соотношению

$$C = \frac{1}{f_{\max}}. \quad (7)$$

Последнее соотношение показывает, что для выполнения равенства $z_1^* = z_1$ величина КУ C исследуемой АФМ должна быть равна предельному значению КУ C^* (при $z_1=1$ - в последнем случае).

Полученный результат еще не означает, что нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть выше, чем базового варианта АФМ. Действительно, при фиксированной предельно допустимой величине КУ C , вычисляемой по соотношению (6), число пар трения z_1 можно выбирать меньшим, чем допустимое значение, вычисляемое по формуле (7). Однако это приводит к уменьшению многочлена $z_1(1-n)(1-z_2 C f_{\min})$ в формуле (6) и, следовательно, к снижению нагрузочной способности АФМ [3,4,5].

Подставив правую часть соотношения (6) в формулу (1), приняв $z_2=1$ и учитывая при этом соотношение (7), приходим к выражению (2). Это означает, что при $C = C^*$ нагрузочные способности сравниваемых муфт равны.

Нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть выше, чем нагрузочная способность базового варианта АФМ второго поколения.

Полученный результат относится к номинальным вращающим моментам сравниваемых АФМ, вычисляемым с учетом минимального значения коэффициента трения. Точность срабатывания АФМ зависит также от максимального значения вращающего момента, который вычисляется при максимальной величине коэффициента трения, учитывая характер нагрузочной кривой КУ C , ниже критического.

При $z_2=1$ и при $C = 1/f_{\max}$ сравниваемые АФМ, как показывают вычисления, обладают одинаковым вращающим моментом. Следовательно, обе муфты при указанном условии имеют не только одинаковую нагрузочную способность, но и одинаковую точность срабатывания. Данный результат справедлив при величинах КУ C , вычисляемых по соотношению (1).

Если равным образом изменить число пар трения z_2 в обеих муфтах, то это скажется на нагрузочной способности, при этом увеличение параметра z_2 приведет к уменьшению вращающего момента исследуемой АФМ и к увеличению вращающего момента базового варианта АФМ второго поколения.

Исследуем, в связи с этим, точность срабатывания АФМ. При увеличении z_2 до 4 для исследуемой АФМ $K_T=1,41$, для базового варианта АФМ - $K_T=2,16$. При этих же данных

номинальный вращающий момент исследуемой АФМ равен 45,36 Нм, а момент базового варианта АФМ - 47,36 Нм.

Результаты показывают, что точность срабатывания исследуемой АФМ значительно выше, чем базового варианта АФМ, при сопоставимой нагрузочной способности обеих муфт. Данные получены при одинаковых значениях параметров муфт, влияющих на их нагрузочные и точностные показатели.

Выводы

1. Показано, что при одинаковых параметрах, кроме величины КУ, точность срабатывания АФМ второго поколения с отдельным силовым замыканием выше, чем точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения.

2. Установлено, что точность срабатывания АФМ с отдельным силовым замыканием уменьшается как при увеличении, так и при уменьшении величины КУ от значения, при котором вращающие моменты муфты при граничных значениях коэффициента трения равны друг другу. При увеличении коэффициента усиления точность срабатывания АФМ выше, чем при его уменьшении.

3. При реальном смещении максимума вращающего момента в область, соответствующую значениям коэффициента трения, близким к минимальному, точность срабатывания АФМ сопоставима с точностью срабатывания муфты, нагрузочная кривая которой имеет максимум, соответствующий значению коэффициента трения, принадлежащему интервалу его изменения, кроме граничных значений, при равенстве друг другу вращающих моментов на границах интервала.

4. При одинаковых значениях КУ АФМ с отдельным силовым замыканием и базового варианта АФМ второго поколения точность срабатывания муфт и нагрузочная способность одинаковы.

5. При увеличении числа ведущих пар трения ОФГ нагрузочная способность АФМ с отдельным силовым замыканием незначительно уменьшается, при этом точность срабатывания существенно увеличивается по сравнению с базовым вариантом АФМ второго поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
2. Есипенко Я.И. Паламаренко А.З., Афанасьев М.К. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.
3. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1975. – 479 с.
5. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
6. Шишкарёв М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – № 4–6. – С. 43–47.
7. Шишкарёв М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел / В сб. «Конструктивно-технологическое и организационное обеспечение гибкого автоматизированного производства сельскохозяйственных машин», Ростов н/Д, РГАСХМ. – 1996. – С. 162–169.
8. Шишкарёв М.П. Об ограничениях при выборе параметров некоторых типов адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. - 2001. – № 7. - С. 8–11.

Рецензент: Сидоренко Валентин Сергеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО ДГТУ

Boyko Nikolay Ivanovich
Rostov State University of Railways
Russia, Rostov-on-Don

Chukarin Alexander Nicolaevich
Rostov State University of Railways
Russia, Rostov-on-Don

Vyalikov Ivan Leonidovich
Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: vialikov@mail.ru

Gil Nadezda Alexevna
Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: gilka_77@mail.ru

Research of loading ability adaptive friction clutch

Abstract. The article examines the adaptive load capacity of the friction clutch with the same parameters except the value of gain, the accuracy of the adaptive response of the friction couplings of the second generation with a separate power circuit is higher than the accuracy of actuation of the base variant of the adaptive friction couplings of the second generation.

It is found that the accuracy of AFM with separate actuation force closure reduced both by increasing and decreasing in value from the CS value at which the torque coupling with the boundary values of the coefficient of friction equal to each other. By increasing the gain accuracy of the AFM operation is higher than when it is decreasing. When the real shift of the maximum torque in the region corresponding to the values of the coefficient of friction close to the minimum, response accuracy comparable to the accuracy of the AFM operation clutch load curve which has a peak corresponding to the value of the friction coefficient in the interval of changing it, except for the boundary values, each with equal other torques at the boundaries of the interval. For the same values of KU AFM with a separate power circuit and the basic version of the second generation of the AFM trip precision couplings and load capacity are the same. By increasing the number of pairs of friction leading FGD carrying capacity of the AFM with a separate power circuit is slightly reduced, and the accuracy of the operation is substantially increased compared to the base case of the second generation of the AFM.

Keywords: clutch; wear; service life; safety elements; innovativeness; chemical effect.

REFERENCES

1. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. Ucheb. posobie dlya vtuzov. Izd. 5-e, pererab. i dop. - M.: Vysshaya shkola, 1977. - 479 s.
2. Esipenko Ya.I. Palamarenko A.Z., Afanas'ev M.K. Mufty povyshennoy tochnosti ogranicheniya nagruzki. - Kiev: Tekhnika, 1972. - 168 s.
3. Kragel'skiy I.V., Vinogradova I.E. Koeffitsienty treniya. - M.: Mashgiz, 1962. - 220 s.
4. Kragel'skiy I.V. Trenie i iznos. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 479 s.
5. Kragel'skiy I.V., Mikhin N.M. Uzly treniya mashin: Spravochnik. - M.: Mashinostroenie, 1984. - 280 s.
6. Shishkarev M.P. Voprosy teorii adaptivnogo friktsionnogo kontakta tverdykh tel // Izv. vuzov. Mashinostroenie. - 1994. - № 4-6. - S. 43-47.
7. Shishkarev M.P. Voprosy teorii adaptivnogo friktsionnogo kontakta tverdykh tel / V sb. «Konstruktsionno-tekhnologicheskoe i organizatsionnoe obespechenie gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva sel'skokhozyaystvennykh mashin», Rostov n/D, RGASKhM. - 1996. - S. 162-169.
8. Shishkarev M.P. Ob ogranicheniyakh pri vybore parametrov nekotorykh tipov adaptivnykh friktsionnykh muft // Vestn. mashinostroeniya. - 2001. - № 7. - S. 8-11.