

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

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/52TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/52TVN515>)

УДК 621.816

Кобзев Кирилл Олегович

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону¹

Преподаватель кафедры «Естественные науки»

E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

Гвоздиков Олег Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: Olegfavorit777@mail.ru

Троицкий Виктор Михайлович

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»

E-mail: Mihailovich2313@mail.ru

Воронцов Александр Олегович

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: Mr.killer@haker.ru

Исследование предохранительных адаптивных фрикционных муфт с повышенной нагрузочной способностью и точностью срабатывания

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

Аннотация. Функция нагрузочной способности пар трения основной фрикционной группы может иметь максимум внутри интервала изменения величины коэффициента трения. Величина коэффициента трения, соответствующего максимуму функции нагрузочной способности пар трения основной фрикционной группы, обратно пропорциональна коэффициенту усиления обратной связи. Для достижения наибольшей точности срабатывания адаптивной фрикционной муфты необходимо, чтобы вращающий момент пар трения основной фрикционной группы обращался в нуль при максимальном значении коэффициента трения. Обращение в нуль вращающего момента основной фрикционной группы при максимальном значении коэффициента трения достигается в том случае, когда величина коэффициента усиления обратно пропорциональна указанному значению коэффициента трения. Вращающий момент реального максимума в интервале изменения коэффициента трения не имеет. При увеличении коэффициента усиления свыше предельного значения автоматическое регулирование в муфте сохраняется в интервале значений коэффициента трения от минимального до величины, обратно пропорциональной принятому значению коэффициента усиления.

Ключевые слова: фрикционная муфта; адаптивный фрикционный контакт; коэффициент трения; распорная сила; дополнительная фрикционная группа; основная фрикционная группа.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кобзев К.О., Гвоздиков О.Ю., Троицкий В.М., Воронцов А.О. Исследование предохранительных адаптивных фрикционных муфт с повышенной нагрузочной способностью и точностью срабатывания // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/52TVN515

Особенностью конструкции представленной в данной работе адаптивной фрикционной муфты (АФМ) является дополнительная фрикционная группа (ДФГ), которая, по сравнению с основной фрикционной группой (ОФГ), не охвачена отрицательной обратной связью [5]. В соответствии с этим величина коэффициента усиления (КУ) обратной связи ограничена сверху согласно следующему соотношению [1]:

$$C \leq \frac{1}{z_1 f_{\max}}, \quad (1)$$

где z_1 – число пар трения ДФГ; f_{\max} – максимальное значение, которое может принимать коэффициент трения между парами трения ОФГ и ДФГ в реальных условиях эксплуатации муфты [7].

Соотношение (1), используемое обычно в форме равенства, позволяет производить расчет и проектирование указанных АФМ, в которых отрицательная обратная связь действует на пары трения ОФГ в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ (где f_{\min} – минимальное значение, которое может принимать коэффициент трения между парами трения ОФГ и ДФГ в реальных условиях эксплуатации муфты [4]).

В работе [2] утверждается, что при указанном выше условии исследуемая АФМ обладает наибольшей точностью срабатывания.

Объект исследования – базовый вариант АФМ второго поколения – представлен на рис. 1 принципиальной схемой.

Муфта содержит соосные одна другой полумуфты 1 и 2, связанные между собой двумя фрикционными группами – ОФГ, которая состоит из дисков трения 3 и 4, и ДФГ, в состав которой входят нажимной диск 5 и диск 6.

Диски 3 связаны со ступицей нажимного диска 5 способом, который позволяет им перемещаться относительно ступицы в осевом направлении (в данном случае техническое решение способа не конкретизировано). Диски 4 и 6 связаны аналогичным способом с барабаном полумуфты 2.

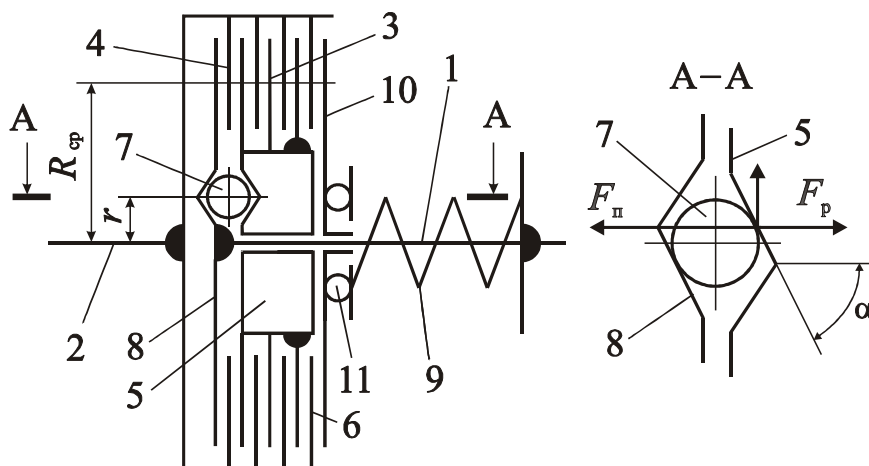


Рис. 1. Принципиальная схема АФМ второго поколения (базовый вариант)

Нажимной диск 5 не имеет кинематической связи со ступицей полумуфты 1 в окружном направлении, за исключением малозначимого трения между ними.

Управляющее устройство (УУ) муфты выполнено в виде тел качения 7, которые размещены в скошенных гнездах, выполненных на обращенных одна к другой торцевых поверхностях нажимного диска 5 и упорного диска 8, жестко закрепленного на ступице полумуфты 1 (см. рис. 1, сечение А-А).

Силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ осуществляется при помощи пружины 9, поставленной в муфту с предварительным натяжением. Для уменьшения сил трения, возникающих в процессе работы между нажимным диском 10 и пружиной, установлен упорный подшипник 11.

Сочетания материалов, из которых изготовлены пары трения ОФГ и ДФГ, а также величины средних радиусов поверхностей трения последних приняты одинаковыми.

Причина, по которой в базовом варианте АФМ второго поколения ограничена величина КУ C и точность срабатывания, согласно соотношению (1), заключается в выключении из работы всех пар трения ОФГ при достижении величины коэффициента трения, равной f_{\max} , если при расчете и проектировании муфты использовать указанное соотношение в форме равенства. В работе [8] утверждается, что у АФМ, построенных на основе использования отрицательной обратной связи, точность срабатывания повышается при увеличении КУ C .

Рассмотрим математическую сторону указанного выше процесса. Полная величина вращающего момента, который передает муфта, складывается из двух вращающих моментов:

- вращающего момента T_1 , который передают пары трения ОФГ;
- вращающего момента T_2 , передаваемого парами трения ДФГ, т.е.

$$T_{\Pi} = T_1 + T_2. \quad (2)$$

Вращающий момент, передаваемый парами трения ОФГ, вычисляется по формуле:

$$T_1 = zR_{\text{cp}}f(F_{\Pi} - F_p), \quad (3)$$

где z – полное число пар трения ОФГ; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения ОФГ; f – коэффициент трения между парами ОФГ; F_{Π} – сила предварительного натяжения пружины 9; F_p – распорная (отжимная) сила УУ муфты (см. рис. 1, сечение А-А).

Вращающий момент, передаваемый парами трения ДФГ, равен:

$$T_2 = z_1F_{\Pi}R_{\text{cp}}f. \quad (4)$$

В соответствии с данными работы [3] и на основе соотношения (1) в базовом варианте АФМ второго поколения обычно принимается $z_1=1$, что и будет учтено далее.

Распорная сила возникает в результате действия на нажимной диск 5 двух вращающих моментов:

- части полного вращающего момента ОФГ, приходящейся на нажимной диск;
- полного вращающего момента ДФГ.

Первый из перечисленных вращающих моментов равен:

$$T_3 = \frac{z-1}{z} T_1. \quad (5)$$

Запись соотношения (5) отражает тот факт, что в конструктивно-компоновочной схеме АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ [6] число ведущих пар трения равно единице. Это принято с целью повышения точности срабатывания муфты.

Учитывая изложенное, можно записать:

$$F_p = \frac{T_2 + T_3}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (6)$$

где α – угол скоса боковой стенки гнезда по тело качения 7 (см. рис. 1, сечение А-А); r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 7 (см. рис. 1).

Используя соотношения (3), (4) и (5) в выражении (6), найдем формулу для вычисления величины распорной силы:

$$F_p = z F_{\Pi} C \frac{f}{1 + (z-1)Cf}. \quad (7)$$

Подставив правую часть формулы (7) в соотношение (3), найдем выражение, показывающее изменение величины вращающего момента, передаваемого парами трения ОФГ, в зависимости от коэффициента трения:

$$T_1 = z F_{\Pi} R_{cp} f \frac{1 - Cf}{1 + (z-1)Cf}. \quad (8)$$

Исследуем полученную функцию (8). Первая производная этой функции по аргументу f , без учета постоянных членов z , F_{Π} и R_{cp} , а также знаменателя производной, безусловно, положительной, равна:

$$D(T_1)_f = 1 - 2Cf - (z-1)C^2 f^2. \quad (9)$$

Максимум функции (8) будет при равенстве первой производной нулю. Решив квадратное относительно неизвестного f уравнение на основе соотношения (9), найдем его корни:

$$f_{1,2} = \frac{\pm \sqrt{z-1}}{(z-1)C}.$$

Один из найденных корней, безусловно, отрицательный, что противоречит физическому смыслу искомого параметра, и по этой причине далее должен быть опущен.

Второй корень после математических преобразований запишется как

$$f_k = \frac{1}{(\sqrt{z} + 1)C}. \quad (10)$$

Оценим возможность попадания значения f_k в интервал изменения коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$. Для выполнения этого условия должно удовлетворяться следующее двойное неравенство:

$$f_{\min} < f_k < f_{\max} . \quad (11)$$

С учетом соотношения (10) двойное неравенство (11) можно разделить на два следующих неравенства:

$$\begin{aligned} f_{\min} &< \frac{1}{(\sqrt{z} + 1)C}, \\ f_{\max} &> \frac{1}{(\sqrt{z} + 1)C}. \end{aligned} \quad (12)$$

На основе неравенств (12) приходим к интервалу значений КУ C , удовлетворяющих поставленному выше условию:

$$\frac{1}{(\sqrt{z} + 1)f_{\max}} < C < \frac{1}{(\sqrt{z} + 1)f_{\min}}. \quad (13)$$

Для того чтобы оценить нижнюю границу интервала (13), обратимся к соотношению (8). Вращающий момент T_1 обращается в нуль при значении КУ C , равном

$$C = \frac{1}{f}. \quad (14)$$

Выражение (14) показывает, что вращающий момент T_1 может обратиться в нуль при любом значении коэффициента трения, принадлежащем интервалу $f_{\min} \dots f_{\max}$, включая его граничные значения. Соответственно этому должна быть найдена величина КУ C .

Рассмотрим, в связи с этим, наиболее рациональное значение коэффициента трения, при котором вращающий момент T_1 должен обращаться в нуль. Если принять значение коэффициента трения такое, что $f_{\min} < f'_k < f_{\max}$ (где f'_k – искомое значение коэффициента трения, удовлетворяющее поставленному условию), то в интервале значений $f_{\min} \dots f'_k$ муфта будет работать в режиме автоматического регулирования, исключая значение f'_k , при котором отрицательная обратная связь, действующая на пары трения ОФГ, выключается. В интервале значений $f'_k < f_{\max}$ на пары трения ДФГ будет действовать положительная обратная связь, когда распорная сила УУ усиливает прижатие друг к другу пар трения ДФГ при увеличении коэффициента трения между ними.

Обращение в нуль вращающего момента T_1 при некотором значении коэффициента трения, не равном f_{\max} , означает равенство друг другу распорной силы и силы натяжения замыкающей пружины. Если величина КУ C вычисляется в соответствии с минимальным значением коэффициента трения, то отрицательная обратная связь перестает действовать при указанном значении коэффициента, и муфта становится неадаптивной, в которой будет действовать только положительная обратная связь, значительно ухудшающая точность срабатывания АФМ.

В том случае, когда величина КУ C назначается в соответствии с максимальным значением коэффициента трения, действие отрицательной обратной связи происходит в

интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ и заканчивается при его верхнем граничном значении. При этом, учитывая неразрывность функции полного вращающего момента АФМ, муфта будет передавать нагрузку, соответствующую максимальному значению коэффициента трения, при работе только пар трения ДФГ.

Следовательно, для исследования двойного неравенства (13) необходимо принимать значение КУ C в соответствии с соотношением (1), принятым в форме равенства. При этом, руководствуясь известным положением о влиянии величины КУ C на точность срабатывания АФМ [7], примем в соотношении (1) $z_1=1$.

Сделав указанную подстановку в неравенство

$$\frac{1}{(\sqrt{z} + 1)f_{\max}} < C,$$

приходим соответственно к неравенству $\sqrt{z} + 1 > 1$, которое, очевидно, выполняется при любых реальных значениях параметра z .

Подставив представление КУ C в неравенство

$$C < \frac{1}{(\sqrt{z} + 1)f_{\min}},$$

приходим соответственно к неравенству

$$\frac{m}{\sqrt{z} + 1} > 1, \quad (15)$$

где $m = f_{\max} / f_{\min}$ – относительная ширина интервала изменения коэффициента трения.

Обычно при расчетах и проектировании АФМ принимается $m = 8 \dots 10$ [3]. При этих значениях для выполнения неравенства (15) количество пар трения ОФГ муфты не должно превышать

$$z < (m - 1)^2,$$

т.е.

$$z < 49 \dots 81.$$

В предохранительных фрикционных муфтах, в том числе в АФМ, число пар трения обычно не превышает $10 \dots 12$ [5], поэтому неравенство (15), а также исходное по отношению к нему неравенство, безусловно, выполняются.

Таким образом, при принятом значении КУ C , согласно соотношению (1) в форме равенства, величина коэффициента трения f_k попадает в интервал значений $f_{\min} \dots f_{\max}$. Это означает, что в указанном интервале функция (8) имеет максимум.

Тем не менее, как установлено в работе [6], функция (2) максимума в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ не имеет, а представлена выпуклой кривой, возрастающей в указанном интервале, если величина КУ C удовлетворяет упомянутому выше условию.

Исследование, изложенное в работах [1, 3, 5], показало, что функция (2) имеет максимум, соответствующий значению коэффициента трения, выходящему за верхний предел указанного интервала.

В том случае, когда величина КУ C больше, чем значение, вычисленное по соотношению (1), т.е. равно

$$C = \frac{1}{f_k}, \quad (16)$$

где $f_k < f_{\max}$, автоматическое регулирование осуществляется в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_k$. В связи с этим рассмотрим характер изменения функции (8) в указанном интервале.

Представим

$$f_k = n f_{\max}, \quad (17)$$

где n – коэффициент: $n < 1$.

Подставим соотношение (17) в выражение (16) и используем указанную подстановку в неравенствах

$$\frac{1}{n f_{\max}} > \frac{1}{(\sqrt{z} + 1) f_{\max}}, \quad (18)$$

$$\frac{1}{n f_{\max}} < \frac{1}{(\sqrt{z} + 1) f_{\min}}. \quad (19)$$

Решая неравенства (18) и (19), приходим соответственно к следующим неравенствам:

$$\sqrt{z} + 1 > n, \quad (20)$$

$$\sqrt{z} + 1 < mn. \quad (21)$$

Поскольку, согласно исходному условию $n < 1$ (см. выше), неравенство (20) выполняется. Неравенство (21) выполняется при следующем условии, накладываемом на нижнее граничное значение коэффициента n :

$$n > \frac{\sqrt{z} + 1}{m}. \quad (22)$$

При указанном выше предельном числе пар трения z и принимаемом значении коэффициента m неравенство (22) выполняется в том случае, если $n > 0,46$. Согласно выражению (17) это означает, что функция (8) имеет максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_k$, если величина $f_k \geq 0,37$ (при $f_{\max} = 0,8$). При значении коэффициента трения f_k , как и при значении f_{\max} (в предыдущем случае), функция (8) обращается в нуль.

Таким образом, если величина КУ C не удовлетворяет условию (1), работа АФМ разделяется на две фазы:

- первая фаза – работа в режиме автоматического регулирования в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_k$;
- вторая фаза – работа с выключенной обратной связью в режиме положительной обратной связи в интервале значений коэффициента трения $f_k \dots f_{\max}$.

Выводы

1. Функция нагрузочной способности пар трения ОФГ может иметь максимум внутри интервала изменения величины коэффициента трения. Величина коэффициента трения, соответствующего максимуму функции нагрузочной способности пар трения ОФГ, обратно пропорциональна КУ обратной связи.
2. Для достижения наибольшей точности срабатывания АФМ необходимо, чтобы вращающий момент пар трения ОФГ обращался в нуль при максимальном значении коэффициента трения.
3. Обращение в нуль вращающего момента ОФГ при максимальном значении коэффициента трения достигается в том случае, когда величина КУ обратно пропорциональна указанному значению коэффициента трения.
4. Вращающий момент базового варианта АФМ второго поколения реального максимума в интервале изменения коэффициента трения не имеет.
5. При увеличении коэффициента усиления свыше предельного значения автоматическое регулирование в муфте сохраняется в интервале значений коэффициента трения от минимального до величины, обратно пропорциональной принятому значению КУ.

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. Шишкарев М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – №4–6. – С. 43–47.
7. Шишкарев 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. Шишкарев 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.

Kobzev Kirill Olegovich

Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

Gvozdikov Oleg Yrievich

Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: Olegfavorit777@mail.ru

Troickii Victor Mihailovich

Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: Mihailovich2313@mail.ru

Voroncov Aleksander Olegovich

Don State Technical University
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: Mr.killer@haker.ru

Safety investigation adaptive friction couplings with high load capacity and response accuracy

Abstract. The function of the load capacity of the primary friction pairs the group can have a maximum range of variation in the coefficient of friction. The coefficient of friction corresponding to the maximum load capacity function pairs of friction of the friction core group is inversely proportional to the feedback gain. To achieve the most accurate response adaptive clutch requires that the friction torque of the main friction pairs group vanishes at the maximum coefficient of friction. The vanishing friction torque basic groups with a maximum of the coefficient of friction is achieved in the case where the value of the gain is inversely proportional to said value of the coefficient of friction. Torque actual maximum range of variation in friction coefficient is not. By increasing the gain over the limit automatic control of the clutch is maintained in a range from a minimum friction coefficient to a value inversely proportional to the received value of the gain.

Keywords: clutch; adaptive frictional contact; the coefficient of friction; spacer force; additional friction group; the main group of friction.

REFERENCES

1. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Proc. aid for technical colleges. Ed. 5th, revised. and add. - M.: Higher School, 1977. - 479 p.
2. Yesipenko Frenkel Palamarenko A.Z., Afanasyev M.K. Clutches high accuracy load limit. - Kiev: Tehnika, 1972. - 168 p.
3. KRAGELSKY I.V., Vinogradova I.E. The coefficients of friction. - M.: Mashgiz, 1962. - 220 p.
4. KRAGELSKY I.V. Friction and wear. - M.: Engineering, 1975. - 479 p.
5. KRAGELSKY I.V., Mihin N.M. Friction units of machines: Directory. - M.: Engineering, 1984. - 280 p.
6. Shishkarev M.P. Problems in the theory of adaptive frictional contact of solid bodies // Math. universities. Mechanical Engineering. - 1994. - №4-6. - S. 43-47.
7. Shishkarev M.P. Problems in the theory of adaptive frictional contact solids / B Sat. "Constructional-technological and organizational support for flexible automated production of agricultural machinery", Rostov n / D RGASKHM. - 1996. - S. 162-169.
8. Shishkarev M.P. For limitations when choosing the parameters of some types of adaptive friction clutches // Vestn. mechanical engineering. - 2001. - №7. - pp 8-11.