

УДК 621.838.222

М. П. Шишкарёв, д-р техн. наук, проф.

Донской государственный технический университет, РФ

Тел.: 89081933393; *E-mail*: shishkarev_m_p@mail.ru

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

В статье показано, что введение в принципиальную схему адаптивной фрикционной муфты с одноконтурной отрицательной обратной связью механизма задержки действия управляющего устройства позволило повысить номинальную нагрузочную способность и точность срабатывания муфты. Установлено ограничение порогового значения коэффициента трения по критерию точности срабатывания муфты, до которого происходит задержка действия управляющего устройства.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, нагрузочная способность, точность срабатывания, коэффициент трения, управляющее устройство.

M. P. Shishkarev

IMPROVEMENT OF TECHNICAL AND OPERATIONAL INDICATORS OF ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES

The article shows that the introduction of an adaptive friction clutch with a single-circuit negative feedback delay mechanism of the control device into the schematic diagram allowed to increase the rated load capacity and the accuracy of the clutch operation. The limitation of the threshold value of the coefficient of friction according to the criterion of the accuracy of the coupling operation, up to which the delay of the control device action occurs, is established.

Keywords: adaptive friction clutch, load capacity, actuation accuracy, coefficient of friction, control device.

1. Введение

Адаптивные фрикционные муфты (АФМ) обладают повышенной точностью срабатывания, которая характеризуется более высокой стабильностью предельной величины вращающего момента [1]. Наряду с этим, АФМ имеют относительно невысокую номинальную нагрузочную способность, являющуюся результатом действия отрицательной обратной связи в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ (где f_{\min} , f_{\max} – соответственно минимальный и максимальный коэффициенты трения), в том числе при значении коэффициента трения, равном f_{\min} [2–4].

При рекомендуемом способе настройки АФМ, предусматривающем использование в качестве настроенного значения коэффициента трения f_{\min} [5], значение приведенного коэффициента трения меньше его текущего значения в

$$1 + zCf_i \quad (1)$$

раз.

В формуле (1) z – число пар трения фрикционной группы АФМ; f_i – текущее значение коэффициента трения; C – коэффициент усиления (КУ) обратной связи:

$$C = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где R_{cp} – средний радиус поверхностей трения элементов фрикционных пар; r – радиус окружности, на которой расположены чувствительные элементы управляющего устройства (УУ); α – угол давления чувствительных элементов УУ.

Из равенства (1) следует, что уменьшение номинальной нагрузочной способности АФМ связано с увеличением КУ, которое приводит к повышению точности сраба-

тывания муфты [6, 7]. Следовательно, повышение точности срабатывания АФМ с отрицательной обратной связью неизбежно приводит к ухудшению другого основного эксплуатационного показателя – номинальной нагрузочной способности.

АФМ с отрицательной обратной связью обладают нагрузочной характеристикой $T_i(f_i)$

(где T_i – текущий предельный вращающий момент АФМ), которая представляет собой возрастающую кривую в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, поэтому при указанном способе настройки важным представляется, по меньшей мере, исключение действия обратной связи при значении коэффициента трения f_{\min} [8].

Цель исследования. Разработка и исследование АФМ с задержкой действия управляющего устройства (УУ) при минимальном коэффициенте трения.

Задачи исследования. 1. Разработка и введение в принципиальную схему АФМ с одноконтурной отрицательной обратной связью механизма задержки действия УУ. 2. Определение порогового значения коэффициента трения, до которого происходит задержка действия УУ. 3. Определение оптимального варианта АФМ с задержкой действия УУ по критерию точности срабатывания муфты.

2. Основное содержание и результаты работы

В связи с этим рассмотрим принципиальную схему АФМ с задержкой действия УУ при минимальном коэффициенте трения, показанную на рис. 1, а. Полумуфты 1 и 2 связаны между собой фрикционной группой, состоящей из дисков трения 3 и 4. Диски 3 соединены со ступицей нажимного диска 5, диски 4 – с барабаном полумуфты 2. Нажимной диск 5 установлен свободно на ступице полумуфты 1.

УУ муфты состоит из тел качения 6, которые размещены с зазором в гнездах с наклонными боковыми стенками, выполненных в упорном диске 7 и нажимном диске 5 (рис. 1, б). Силовое замыкание элементов фрикционных пар осуществляется при помощи пружины 8, передающей силу натяжения через опорный диск 9, соединенный со ступицей полумуфты 1 посредством шпонки 10, и упорного подшипника на нажимной 5 и упорный 7 диски.

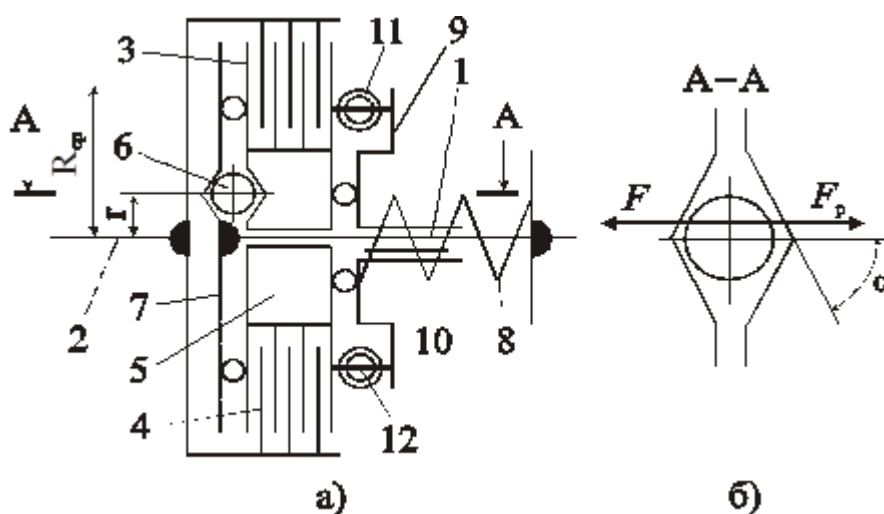


Рисунок 1. Принципиальная схема модернизированной АФМ

Между крайним левым (по рис. 1, а) диском трения 3 и упорным диском 7 установлен упорный подшипник, поэтому фрикционная группа передает полный вращающий момент от одной полумуфты к другой.

Тангенциальные пружины сжатия 11 опираются своими торцами на бобышки 12, которые попарно закреплены на нажимном диске 5 и опорном диске 9. Пружины могут быть установлены в муфту с предварительным натяжением (при использовании АФМ в реверсивном варианте вращения) или устанавливаются без предварительного натяжения. В первом случае пружины устанавливаются попарно между бобышками нажимного и опорного дисков.

Первоначальная суммарная сила натяжения пружин 11 устанавливается из условия равенства нулю величин зазоров между телами качения 6 и боковыми стенками соответствующих гнезд при вращающем моменте, равном

$$T_{\min} = zF_n R_{cp} f_{\min}, \quad (3)$$

где F_n – сила натяжения пружины 8. Остальные обозначения см. выше.

Основываясь на поставленном условии, запишем:

$$F_o + \Delta F_o = \frac{T_{\min}}{R}, \quad (4)$$

где F_o – первоначальная суммарная сила натяжения пружин 11; ΔF_o – величина прироста силы F_o , пропорциональная дополнительной осадке пружин 11, от действия тангенциальной силы; R – радиус окружности, на которой расположены пружины 11.

Величина прироста силы F_o равна:

$$\Delta F_o = cnx, \quad (5)$$

где c – осевая жесткость пружины 11; n – количество пружин 11; x – осадка пружины.

Величина осадки пружины 11 равна:

$$x = 2 \frac{y}{r} R, \quad (6)$$

где y – окружной зазор между телом качения и боковой стенкой гнезда.

В формуле (6) сомножитель 2 учитывает суммарную величину окружного зазора между телом качения и противоположно расположенными на одном элементе боковыми стенками гнезд.

Подставив правую часть равенства (6) в формулу (5) и затем – в выражение (4), найдем

$$F_o = \frac{T_{\min}}{R} - 2ncR \frac{y}{r}.$$

В последней формуле величина вращающего момента T_{\min} определяется по соотношению (3).

При увеличении вращающего момента свыше момента T_{\min} в УУ начинает действовать распорная сила F_{pi} , и величина вращающего момента, который в данный период времени будет передавать АФМ, равна:

$$T_i = zR_{cp} f_i (F_n - F_{pi}). \quad (7)$$

Учитывая, что в соответствии с принятой принципиальной схемой АФМ величина распорной силы равна

$$F_{pi} = \frac{T_i - T_{min}}{r} \operatorname{tg} \alpha,$$

после подстановки последнего соотношения в равенство (7) получаем:

$$T_i = zF_{\pi} R_{cp} f_i \frac{1 + zCf_{min}}{1 + zCf_{min}}. \tag{8}$$

Формула (8) записана с учетом соотношения (2).

Поскольку осевая деформация пружин 11 при увеличении вращающего момента АФМ не изменяется, формула (8) справедлива при всех значениях (кроме значения, равного f_{min}) коэффициента трения, принадлежащих интервалу значений $f_{min} \dots f_{max}$. На основании этого величина коэффициента точности АФМ [9] в данном случае определяется по формуле:

$$K_{\tau} = \frac{T_{max}}{T_{min}} = \frac{f_{max}(1 + zCf_{min})}{f_{min}(1 + zCf_{max})}. \tag{9}$$

Формула (9) идентична зависимости для вычисления величины коэффициента точности АФМ, в которых УУ действует во всем интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_{max}$ [10]. Следовательно, при одинаковых величинах КУ сравниваемые муфты обладают одинаковой точностью срабатывания, т. е. одним из показателей их эффективности. При этом условии номинальная нагрузочная способность исследуемой АФМ выше, чем номинальная нагрузочная способность сравниваемой АФМ, в $(1 + zCf_{min})$ раз. Одновременно с повышением точности срабатывания за счет увеличе-

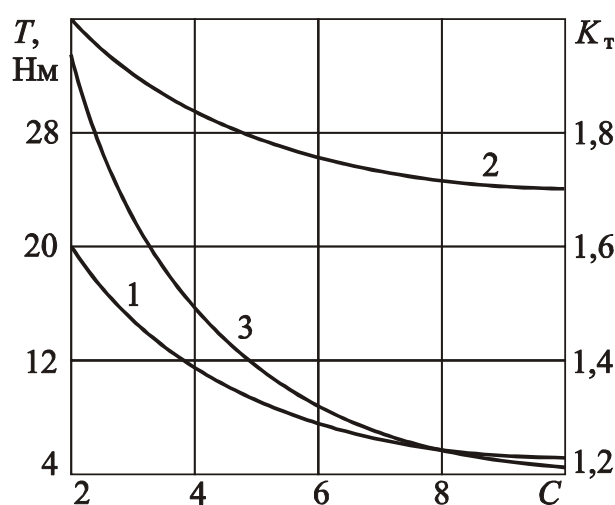


Рисунок 2. Зависимости предельного вращающего момента и коэффициента точности АФМ от КУ.

$f_i = 0,5$.

Анализ графиков показывает, что исследуемая АФМ обладает значительно большей номинальной нагрузочной способностью – в 1,8 раза выше, чем у АФМ с постоянно действующим УУ ($C=2$, кривые 1 и 2). С увеличением КУ номинальная нагрузочная способность исследуемой АФМ снижается медленнее, чем у АФМ с постоянно действующим УУ.

Сравнение точности срабатывания при примерно одинаковых величинах номи-

ния КУ возрастает разница в нагрузочной способности сравниваемых муфт.

Изложенное выше иллюстрируется графиками, показанными на рис. 2. Кривая 1 на этом рисунке отражает функцию $T(C)$, она построена по формуле (8). Кривая 2 отражает график аналогичной функции для АФМ с постоянно действующим УУ, она построена по формуле [11]:

$$T_i = zF_{\pi} R_{cp} \frac{f_i}{1 + zCf_i}.$$

Кривая 3 на рис. 2 отражает график функции $K_{\tau}(C)$, она построена по формуле (9). Все графики построены по следующим исходным данным: $z=4$, $F_{\pi}=500$ Н, $R_{cp}=0,1$ м, $f_{min}=0,1$, $f_{max}=0,8$,

нальных вращающих моментов АФМ показывает, что точность срабатывания исследуемой АФМ значительно выше. Например, при $T = 20$ Н·м (кривая 1) величина коэффициента точности равна 1,95, а при $T = 24$ Н·м величина коэффициента точности меньше в 1,6 раза (кривая 2). Поэтому с данной точки зрения можно отметить повышение точности срабатывания исследуемой АФМ с одновременным увеличением номинальной нагрузочной способности. Так, в интервале величин КУ $10 \geq C \geq 2$ величина номинального вращающего момента исследуемой АФМ выше, а коэффициента точности меньше, чем у АФМ с постоянно действующим УУ.

В том случае, когда задержка начала действия УУ происходит до некоторого значения коэффициента трения $f_k > f_{min}$, величина номинального вращающего момента АФМ определяется по следующим формулам:

– в интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_k$:

$$T_i = z F_n R_{cp} f_i, \tag{10}$$

– в интервале значений коэффициента трения $f_i > f_k \dots f_{max}$:

$$T_i = z F_n R_{cp} f_i \frac{1 + z C f_k}{1 + z C f_i}. \tag{11}$$

Таким образом, в данном случае нагрузочная характеристика АФМ будет состоять из двух участков – прямолинейного, согласно зависимости (10), в интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_k$, и криволинейного, в соответствии с зависимостью (11), на остальной части нагрузочной характеристики.

В соответствии с этим, величина коэффициента точности в данном случае равна

$$K_T = \frac{f_{max} (1 + z C f_k)}{f_{min} (1 + z C f_{max})}. \tag{12}$$

Анализ формул (9) и (12) показывает, что при $f_k > f_{min}$ величина коэффициента точности в последнем случае будет больше при одинаковых значениях параметров z и C . Однако, формула (11) указывает на повышение нагрузочной способности АФМ, отрегулированной по данному способу [12]. Поэтому точность срабатывания АФМ может быть повышена за счет увеличения КУ.

Примем в качестве исходного условия для определения требуемого увеличения КУ равенство $K_T = K_{T1}$, при этом в формуле (9) КУ равен C_1 , а в формуле (12) – C_2 . Очевидно, что $C_2 > C_1$. Приравнивая друг другу правые части формул (9) и (12), находим значение коэффициента трения f_k по следующей формуле:

$$f_k = \frac{(1 + z C_1 f_{min})(1 + z C_2 f_{max}) - (1 + z C_1 f_{max})}{z C_2 (1 + z C_1 f_{max})}. \tag{13}$$

На прямолинейном участке нагрузочной характеристики величина коэффициента точности АФМ, вычисляемая по формуле

$$K_T = \frac{f_k}{f_{min}},$$

не должна быть больше его величины, определяемой по формуле (9), на основании чего запишем следующее равенство:

$$f_k = m \frac{f_{max} (1 + z C_1 f_{min})}{1 + z C_1 f_{max}}, \tag{14}$$

где m – коэффициент: $m < 1$.

Приравнивая друг другу правые части формул (13) и (14), получаем:

$$C_2 = \frac{(f_{\max} - f_{\min})C_1}{(1 + zC_1f_{\min})(1 - m)f_{\max}}. \quad (15)$$

Формулы (14) и (15) позволяют определить значение коэффициента трения f_k и величину КУ C_2 , при которых АФМ с задержкой действия УУ до значения f_k обладает одинаковой точностью срабатывания с АФМ, имеющей задержку действия УУ при значении коэффициента трения f_{\min} .

При одинаковой точности срабатывания АФМ с задержкой действия УУ до значения коэффициента трения f_k обладает большей номинальной нагрузочной способностью при значении коэффициента трения f_{\min} по сравнению с АФМ, имеющей постоянно действующее УУ.

Обсуждение и результаты. Принцип задержки действия УУ, реализованный в АФМ с отрицательной обратной связью с помощью введения в ее принципиальную схему специального механизма, позволил снять ограничение максимальной величины КУ и за счет этого решить задачу устранения противоречия между номинальной нагрузочной способностью и точностью срабатывания муфты.

Существует ограничение порогового значения коэффициента трения по критерию точности срабатывания АФМ, которая приближается к точности срабатывания «идеальной» АФМ.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании модернизированной АФМ с механизмом задержки действия УУ для определения ее конструктивных параметров, обеспечивающих повышение номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания.

3. Заключение

1. Введение в принципиальную схему АФМ с одноконтурной отрицательной обратной связью механизма задержки действия УУ позволило повысить номинальную нагрузочную способность и точность срабатывания муфты.

2. Номинальная нагрузочная способность АФМ повышается при увеличении порогового значения коэффициента трения, до которого происходит задержка действия УУ. Существует ограничение порогового значения коэффициента трения по критерию точности срабатывания АФМ.

3. Наибольшими возможностями повышения точности срабатывания обладает вариант АФМ, в котором задержка действия УУ осуществляется при минимальном значении коэффициента трения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шишкарев, М. П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения с дифференцированными парами трения (ч. 2) / М. П. Шишкарев // Известия ОрелГТУ. – 2008. – № 3-2/271 (546). – С. 67–71.

2. Шишкарев, М. П. Анализ переходного периода адаптивных фрикционных контактов в условиях положительного прироста коэффициента трения / М. П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2000. – № 3. – С. 14–17.

3. Шишкарев, М. П. Условие и возможность реализации высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М. П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – № 3. – С. 3–6.

4. Шишкарев М.П., Угленко А.Ю. Анализ эксплуатационных характеристик ва-

риантов адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М. П. Шишкарёв, А. Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 8. – С. 44–48.

5. Шишкарёв, М. П. Влияние величины коэффициента усиления на массу адаптивных фрикционных муфт / М. П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 2. – С. 88–93.

6. А. с. 1055915 СССР, МПК³ F 16 D 7/02, F 16 D 13/04. Предохранительная фрикционная муфта / М. П. Шишкарёв (СССР). – № 3475963/25–27; заявл. 28.07.82; опубл. 23.11.83. Бюл. № 43. – 6 с.: ил.

7. Шишкарёв, М. П. Аналитическое обоснование оптимального способа настройки предохранительных фрикционных муфт / М. П. Шишкарёв // Вестник машиностроения. – 2009. – № 9. – С. 3–6.

8. Шишкарёв М.П., Лущик А.А. Выбор формы нагрузочной характеристики первого конструктивного варианта адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М. П. Шишкарёв, А. А. Лущик // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения» 25-28 февраля 2014 г., Ростов н/Д, 2014. – С. 206–209.

9. Шишкарёв, М. П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твёрдых тел 2-го поколения // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

10. Шишкарёв, М. П. Исследование адаптивной фрикционной муфты с комбинированной обратной связью / М. П. Шишкарёв, Чан Ван Дык // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2014. – № 9. – С. 25–32.

11. Шишкарёв, М. П. Распределение нагрузки в муфте Н.Д. Вернера и выбор её параметров / М. П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 6. – С. 8–11.

12. Шишкарёв, М. П. Ву Тьен Зунг. Практическая точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты с переменным значением коэффициента усиления / М. П. Шишкарёв, Ву Тьен Зунг // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 3. – С. 3–7.

Поступила в редколлегию 27.03.2023 г.