

**Шишкарев Михаил Павлович**

Shishkarev Mihail Pavlovich

Донской государственный технический университет

Don State Technical University

Профессор / professor

Доктор технических наук, профессор

Заслуженный изобретатель РФ

E-Mail: shishkarevm@mail.ru

**Кобзев Кирилл Олегович**

Kobzev Kirill Olegovich

Донской государственный технический университет

Don State Technical University

Аспирант / postgraduate student

E-Mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»

## **Эксплуатационные характеристики адаптивной фрикционной муфты второго поколения**

### **Adaptive performance friction clutch second generation**

**Аннотация:** Найденная математическая модель АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ идентична математической модели АФМ первого поколения с аналогичной компоновочной схемой фрикционной группы. Точность срабатывания АФМ первого поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ может быть выше, чем точность срабатывания АФМ второго поколения с максимальной величиной коэффициента усиления. При одинаковых конструктивных параметрах нагрузочная способность АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ выше, чем нагрузочная способность АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ, кроме нагрузочной способности при максимальном значении коэффициента трения. АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ обладает более высокой точностью срабатывания по сравнению с АФМ, имеющей все ведущие пары трения ОФГ, при числе пар трения ДФГ, равным единице.

**The Abstract:** Found a mathematical model of the second generation of the AFM with all the leading pairs of friction UFG identical mathematical model of the first generation of APM with the same mounting as the friction of the group. Release accuracy of the AFM of the first generation with all the leading pairs of friction OFG may be higher than the accuracy of the AFM operation of the second generation with the maximum value of the gain. At the same structural parameters of load-carrying capacity of the AFM second-generation differentiated pairs of friction UFG higher than the carrying capacity of the AFM of the second generation with all the leading pairs of friction OFG than the load capacity at maximum coefficient of friction. AFM second-generation differentiated pairs of friction OFG has a higher accuracy compared to the response of the AFM, which has all the major friction pair UFG, when the number of pairs of friction DFG equal to one.

**Ключевые слова:** Адаптивная фрикционная муфта, коэффициент усиления, управляющее устройство, коэффициент трения.

**Keywords:** Adaptive friction clutch, gain control device, the coefficient of friction.

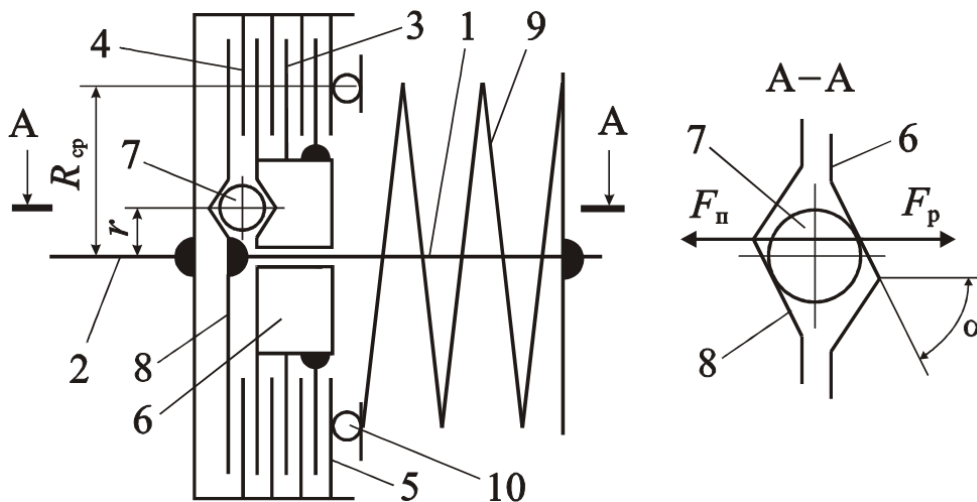
**Состояние вопроса.** До настоящего времени *адаптивные фрикционные муфты (АФМ)* второго поколения (базовый вариант) использовались с вариантом конструктивно-компоновочной схемы, основанной на дифференциации пар трения *основной фрикционной группы (ОФГ)* по типу «ведущая пара – ведомые пары» [1]. Соответственно этому все исследования АФМ проводились применительно к указанной компоновочной схеме ОФГ [2, 3].

Компоновка фрикционной группы АФМ первого поколения по типу «все пары трения ведущие», как показали проведенные исследования [4], позволяет повысить точность срабатывания муфты, главным образом, за счет того, что можно увеличить *коэффициент усиления (КУ)* обратной связи, который для данного варианта АФМ, в принципе не имеет ограничений по величине сверху [5].

АФМ второго поколения (базовый вариант) с дифференцированными парами трения ОФГ имеют преимущество перед АФМ первого поколения с аналогичной компоновкой фрикционной группы по точности срабатывания [6].

**Постановка задачи исследования.** Оценка эксплуатационных характеристик – нагрузочной способности и точности срабатывания – базового варианта АФМ второго поколения с компоновкой ОФГ по типу «все пары трения ведущие».

**Решение задачи.** Объект исследования – АФМ второго поколения (базовый вариант), принципиальная схема которой показана на рис. 1. Соосные одна другой полумуфты 1 и 2 связаны между собой двумя фрикционными группами:



**Рис. 1.** Принципиальная схема АФМ

- ОФГ, состоящей из дисков трения 3 и 4;
- дополнительной фрикционной группы (ДФГ), включающей диск трения 5 и фланец нажимного диска 6, который лишен кинематической связи в окружном направлении со ступицей полумуфты 1, за исключением незначительного трения между ними, не принимаемого во внимание в приведенных ниже расчетах.

Диски трения 3 связаны со ступицей нажимного диска в окружном направлении, а диски трения 4 и 5 – с барабаном полумуфты 2.

*Управляющее устройство (УУ)* выполнено в виде тел качения 7, размещенных в скошенных гнездах, которые располагаются на взаимообращенных торцовых поверхностях нажимного диска 6 и упорного диска 8, жестко закрепленного на ступице полумуфты 1 (см.

рис. 1, сечение А-А).

Силовое замыкание пар трения 3-4 и 5-6 осуществляется при помощи пружины 9, поставленной в муфту с предварительным натяжением. Усилие сжатия пружины 9 передается на пары трения через упорный подшипник 10, что уменьшает момент сил трения между пружиной и диском 5.

При исследовании АФМ будем исходить из того, что полный вращающий момент муфты складывается из двух вращающих моментов, передаваемых по параллельным энергетическим потокам:

- вращающего момента, передаваемого парами трения ОФГ (диски трения 3 и 4);
- вращающего момента, который передает пара трения ДФГ (диск трения 5 и фланец нажимного диска 6).

В соответствии с этим можно записать:

$$T_{\Pi} = T_1 + T_2, \quad (1)$$

где  $T_{\Pi}$  – полный вращающий момент, передаваемый АФМ;  $T_1$  – вращающий момент, передаваемый парами трения ОФГ;  $T_2$  – вращающий момент, передаваемый парами трения ДФГ.

Для общности рассуждений примем, что ДФГ включает несколько пар трения. В равенстве (1) слагаемое запишется как

$$T_1 = zR_{cp}f(F_{\Pi} - F_p), \quad (2)$$

$$T_2 = z_1F_{\Pi}R_{cp}f, \quad (3)$$

где  $z$  – число пар трения ОФГ;  $R_{cp}$  – средний радиус поверхности трения ОФГ и ДФГ (принят одинаковыми для всех пар трения АФМ);  $f$  – коэффициент трения между парами ОФГ и ДФГ;  $F_{\Pi}$  – сила натяжения пружины 9;  $F_p$  – распорная (отжимная) сила, возникающая между телами качения 7 и нажимным диском 6;  $z_1$  – число пар трения ДФГ.

Распорная сила УУ возникает в результате передачи нагрузки телами качения 7 и нажимным диском 6. В рассматриваемом варианте компоновочной схемы АФМ полный вращающий момент передает нажимной диск благодаря тому, что ОФГ выполнена по типу «все пары трения ведущие». На это указывает упорный подшипник 11, поставленный между диском трения 4 и упорным диском 8.

В соответствии с этим, используя соотношение (2) и (3), запишем:

$$F_p = \frac{zR_{cp}f(F_{\Pi} - F_p) + z_1F_{\Pi}R_{cp}f}{r} \operatorname{tg}\alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения 7 УУ обратной связи (см. рис. 1, сечение А-А);  $r$  – радиус окружности, на которой расположены тела качения 7.

Решив уравнение (4) относительно  $F_p$ , получим:

$$F_p = (z + z_1)F_{\Pi}C \frac{f}{1 + zCf}, \quad (5)$$

где  $C$  – коэффициент усиления (КУ) обратной связи:

$$C = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha.$$

Подставив правую часть соотношения (5) в выражение (2), получим:

$$T_1 = z F_{II} R_{cp} f \frac{1 - z_1 C f}{1 + z C f}. \quad (6)$$

Используя правые части соотношений (3) и (6) в равенстве (1), найдем формулу для вычисления полного вращающего момента АФМ:

$$T_{II} = (z + z_1) F_{II} R_{cp} f \frac{f}{1 + z C f}. \quad (7)$$

При исследовании базового варианта АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ по компоновочной схеме типа «ведущая пара – ведомые пары» было установлено ограничение сверху величины КУ в виде

$$C \leq \frac{1}{z_1 f_{\max}}. \quad (8)$$

Для рассматриваемого варианта АФМ поставим условие

$$F_p \leq F_{II}. \quad (9)$$

С учетом соотношения (5) условие (9) преобразуется в ограничение сверху величины КУ в форме

$$C \leq \frac{1}{z_1 f_{\max}}.$$

Как видим, полученное ограничение сверху величины КУ  $C$  ничем не отличается от ограничения, установленного соотношением (8). Объясняется это тем, что в одинаковой системе в обоих вариантах АФМ при максимальном значении коэффициента трения  $f_{\max}$  в результате перегрузки происходит выключение из работы пар трения ОФГ из-за равенства в данный момент времени друг другу силы пружины и распорной силы.

Соотношение (7) показывает, что рассматриваемый вариант АФМ по своей эффективности идентичен АФМ первого поколения со всеми ведущими парами трения, число которых равно

Очевидно, что и точность срабатывания сравниваемых муфт будет одинакова при одинаковых значениях КУ  $C$ . Однако указанный вариант АФМ первого поколения не имеет ограничения сверху величины КУ  $C$ , поэтому точность срабатывания ее может быть выше, чем у рассматриваемой АФМ второго поколения.

Вращающий момент АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ равен:

$$T_{II1} = F_{II} R_{cp} f \frac{z + 1 - C f}{1 + (z - 1) C f}. \quad (10)$$

Ограничение сверху величины КУ  $C$  в данном случае устанавливается также по соотношению (8).

Сопоставим нагрузочную способность АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ и АФМ с дифференцированными парами трения. Положим, что

$$T_{\text{п1}} > T_{\text{п}}. \quad (11)$$

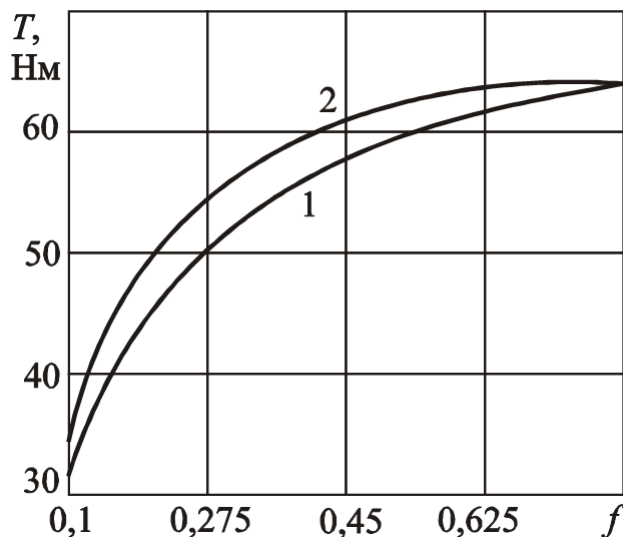
После подстановки в неравенство (11) правых частей соотношений (7) и (10) приходим к следующему неравенству:

$$C < \frac{1}{f}. \quad (12)$$

Если рассматривать номинальную нагрузочную способность сравниваемых АФМ, то и в соотношениях (7) и (10), а также в неравенстве (12) следует заменить параметр  $f$  на параметр  $f_{\text{min}}$ , как рекомендовано в работе [7]. Поскольку, согласно соотношению (8), предельное значение КУ  $C$  при одной паре трения ДФГ обратно пропорционально максимальной величине коэффициента трения, условие (12) (при  $f_{\text{min}}$ ) не может быть выполнено.

Следовательно, не выполняется и неравенство (11), причем, нагрузочная способность АФМ с дифференцированными парами трения выше, чем АФМ со всеми ведущими парами трения. Данный вывод справедлив для всех значений коэффициента трения, кроме значения  $f_{\text{max}}$ .

На рис. 2 показаны графики зависимости  $T_{\text{п}}(f)$ , построенные по соотношениям (7) и (10) (соответственно кривые 1 и 2). Графики построены по следующим исходным данным:  $F_{\text{п}} = 800$  Н,  $R_{\text{ср}} = 0,1$  м,  $z = 6$ ,  $C = 1,25$ ,  $z_1 = 1$ .



**Рис. 2.** Графики зависимости вращающего момента АФМ от коэффициента трения

Графики подтверждают сделанные выше выводы: при всех значениях коэффициента трения кривая 2 расположена выше, чем кривая 1, кроме значения  $f_{\text{max}}$ , при котором кривые имеют общую точку.

Выше исследованы варианты АФМ с одной парой трения ДФГ. В этом случае может

быть назначена максимальная величина КУ  $C$ .

Рассмотрим варианты АФМ с  $z_1 > 1$ . В данном случае ограничение сверху величины КУ  $C$  имеет вид (8), а формула (10) запишется как

$$T'_{п1} = F_{п} R_{ср} f \frac{z + z_1(1 - Cf)}{1 + (z - 1)Cf}. \quad (13)$$

Сопоставим нагрузочные способности вариантов АФМ в предположении, что

$$T'_{п1} > T_{п}. \quad (14)$$

После подстановки в неравенство (14) правых частей соотношений (7) и (13) получим следующее неравенство:

$$C < \frac{1}{z_1 f_{\min}}. \quad (15)$$

Неравенство (15) не противоречит условию (8), следовательно, исходное неравенство (14) выполняется, и нагрузочная способность, учитываемая по номинальному вращающему моменту, варианта АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ выше, чем варианта со всеми ведущими парами трения ОФГ.

Оценим точность срабатывания сравниваемых вариантов АФМ при  $z_1 = 1$  и при  $z_1 > 1$ . В первом случае формулы для вычисления коэффициента точности АФМ имеет вид:

$$K_{т1} = \frac{f_{\max}(1 + zCf_{\min})}{f_{\min}(1 + Cf_{\max})}, \quad (16)$$

$$K_{т2} = \frac{f_{\max}(z + 1 - Cf_{\max})[1 + (z - 1)Cf_{\min}]}{f_{\min}(z + 1 - Cf_{\min})[1 + (z - 1)Cf_{\max}]}. \quad (17)$$

Во втором случае (при  $z_1 > 1$ ) для вычисления величины коэффициента точности АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ пригодно соотношение (16).

Для АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ формула для вычисления величины коэффициента точности имеет следующий вид, с учетом соотношения (13):

$$K_{т3} = \frac{f_{\max}(z + z_1(1 - Cf_{\max})) [1 + (z - 1)Cf_{\min}]}{f_{\min}(z + z_1(1 - Cf_{\min})) [1 + (z - 1)Cf_{\max}]}. \quad (18)$$

Величины КУ  $C$  вычислялись:

- для АФМ со всеми ведущими и с дифференцированными парами трения ОФГ и  $z_1 = 1$  – по формуле

$$C = \frac{1}{f_{\max}}; \quad (19)$$

- для АФМ со всеми ведущими и дифференцированными парами трения ОФГ и  $z_1 > 1$  – по соотношению (8) (в форме равенства).

Исходные данные, принятые при вычислениях:  $f_{\min}=0,1$ ,  $f_{\max}=0,8$ ,  $z=6$ ,  $z_1=2$ . Величина КУ, вычисленная по соотношению (19), составила 1,25, а по соотношению (15) (в форме равенства) – 0,625.

Значения коэффициентов точности составили:  $K_{\tau_1}=2$ ,  $K_{\tau_2}=1,89$ ,  $K_{\tau_3}=2,67$ ,  $K_{\tau_4}=2,75$ .

Результаты вычислений показывают, что:

- точность срабатывания АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ и при  $z_1 > 1$  наименьшая из всех исследованных вариантов АФМ;
- точность срабатывания АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ при  $z_1 = 1$  выше, чем АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ;
- точность срабатывания АФМ с дифференцированными парами трения при  $z_1 > 1$  выше, чем АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ.

Результаты исследования могут быть использованы при выборе варианта АФМ второго поколения с наилучшими эксплуатационными характеристиками.

## Выводы

1. Найденная математическая модель АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ идентична математической модели АФМ первого поколения с аналогичной компоновочной схемой фрикционной группы.
2. Упомянутые в п. 1 АФМ обладают одинаковыми нагрузочной способностью и точностью срабатывания.
3. Точность срабатывания АФМ первого поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ может быть выше, чем точность срабатывания АФМ второго поколения с максимальной величиной коэффициента усиления.
4. При одинаковых конструктивных параметрах нагрузочная способность АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ выше, чем нагрузочная способность АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ, кроме нагрузочной способности при максимальном значении коэффициента трения.
5. При числе пар трения ДФГ, большем единицы, нагрузочная способность АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ выше, чем нагрузочная способность АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ.
6. АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ обладает наихудшей точностью срабатывания при числе пар трения ДФГ, большем единице.
7. АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ обладает более высокой точностью срабатывания по сравнению с АФМ, имеющей все ведущие пары трения ОФГ, при числе пар трения ДФГ, равным единице.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков В.С. Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1974. – 352 с.
2. Шишкарев М.П. Об ограничениях при выборе параметров некоторых типов адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 7. – С. 8–11.
3. Шишкарев М.П. Уточнение характеристики обратной связи адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 11. – С. 12–13.
4. Есипенко Я.И. Паламаренко А.З., Афанасьев М.К. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.
5. Шишкарев М.П. Распределение нагрузки в муфте Н.Д. Вернера и выбор ее параметров // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 6. – С. 8–11.
6. А. с. 1430633 СССР, МПК<sup>4</sup>F16D7/02. Предохранительная фрикционная муфта / М.П. Шишкарев (СССР). – № 4048607/25–27; Заявлено 26.02.86; Опубл. 15.10.88. Бюл. № 38. – 3 с.: ил.
7. Шишкарев М.П. Эффективность применения адаптивных фрикционных муфт // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 1. – С. 27–31.