

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»

Исследование точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт с комбинированной обратной связью (часть 2)

Research response accuracy adaptive friction clutch with combined feedback (part 2)

Аннотация: Вариант АФМ с числом пар трения ДФГ, большим единицы, при реализации нагрузочной характеристики в форме кривой, имеющей точку максимума, внутри интервала, обладающей более высокой, чем вариант муфты с числом пар трения ДФГ, равным единице, точность срабатывания, в том числе, при равенстве друг другу величин вращающего момента на границах указанного интервала. Наибольшей точностью срабатывания обладает вариант АФМ, имеющий число пар трения ДФГ, большее единицы, при равенстве друг другу величин вращающего момента, соответствующих значениям коэффициента трения, и при наличии максимума величины вращающего момента внутри интервала изменения коэффициента трения.

The Abstract: The option adaptive friction clutch with the number of pairs of friction DFG, more than one, in realization of the load curve in the shape of a curve having a point maxima, within the range, which has a higher than Option coupling with the number of pairs of friction DFG, unity, response accuracy in including being equal to each other torque values at the boundaries of the specified interval. The most accurate response, possessing a variant of the adaptive friction clutch, which has the number of pairs of friction DFG greater than one, being equal to each other torque values corresponding to the values of the coefficient of friction, and the presence of high quantities of rotating within the time interval over which the coefficient of friction.

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

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

Введение

Адаптивные фрикционные муфты (АФМ) с отрицательно-нулевой обратной связью относятся к классу АФМ второго поколения [1]. Отличительными особенностями муфт данного класса являются:

- наличие в составе дополнительной фрикционной группы, которая не охвачена отрицательной обратной связью, как основная фрикционная группа, т. е. так называемой «нулевой» обратной связью;
- более высокие, при равных конструктивных параметрах, нагрузочная способность и точность срабатывания [2, 3].

В ряде работ, посвященных исследованию АФМ с отрицательно-нулевой обратной связью, решаются задачи по установлению оптимальной величины коэффициента усиления (КУ) [4], максимизации нагрузочной способности [5], точности срабатывания [6] и др. Вместе с тем, общие вопросы, связанные с установлением оптимальных взаимодействий между отдельными параметрами муфты, и надавленные на ее оптимальное функционирование, в настоящее время еще не решены. Это не позволило создать основы общей теории АФМ с указанной обратной связью.

Постановка задачи. Исследование проблем повышения точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт с комбинированной обратной связью.

Решение задачи. При проведении данного исследования зададимся условием, которое заключается в том, что величина коэффициента усиления (КУ) S принимается равной аналогичной величине адаптивной фрикционной муфты (АФМ), у которой $z_1 = 1$ число пар поверхностей трения основной фрикционной группы (ОФГ), что необходимо для корректного сопоставления двух вариантов АФМ по исследуемому эксплуатационному показателю. Впрочем, данное условие имеет ограничения:

Во-первых, при выполнении условия, вариант АФМ не будет обладать той же формой кривой нагрузочной характеристики, что и вариант с $z_1 = 1$ если форма кривой нагрузочной характеристики последнего будет представлять кривую, монотонно возрастающую в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$;

Во-вторых, выполнение поставленного условия для случая, когда вариант АФМ с $z_1 = 1$ обладает нагрузочной характеристикой в форме кривой, имеющей максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, при равенстве друг другу величин вращающего момента, соответствующих граничным значениям указанного интервала, будет означать, что для варианта АФМ с $z_1 > 1$ указанная форма кривой нагрузочной характеристики не может быть получена [7].

На основании изложенного для принятого выше условия исследуем точность срабатывания варианта АФМ при реализации формы кривой нагрузочной характеристики, имеющей максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$. Поскольку, как отмечено выше, величина КУ S , соответствующая равенству друг другу значений вращающего момента при коэффициентах трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, примем в качестве единого значения КУ S для обоих вариантов АФМ. В этом случае принятое значение КУ S автоматически обеспечивает выполнение условия $C_1 < C_k$.

Формула для вычисления коэффициента точности второго варианта АФМ запишется, в следующем виде

$$K_T = \frac{f_k(z - z_1 n(c_2 f_k - 1))(1 + (z - 1)c_2 f_{\min})}{f_{\min}(z - z_1 n(c_2 f_{\min} - 1))(1 + (z - 1)c_2 f_k)} \quad (1)$$

Формула (1) записана с учетом того обстоятельства, что при уменьшении величины КУ C от значения C_k приводит к изменению величин T_{\min} и T_{\max} таким образом, что $T_{\max} > T_{\min}$.

Для проведения корректного сопоставления точности срабатывания первого и второго вариантов АФМ необходимо, чтобы величина КУ C , одинаковая для упомянутых вариантов, удовлетворяла следующему условию

$$C'_2 < C_2 < C_k$$

На рис. 1 показаны графики зависимости $K_T(n)$. В качестве исходных данных при построении графиков приняты $f_{\min} = 0,1$, $z = 6$, $z_1 = 3$.

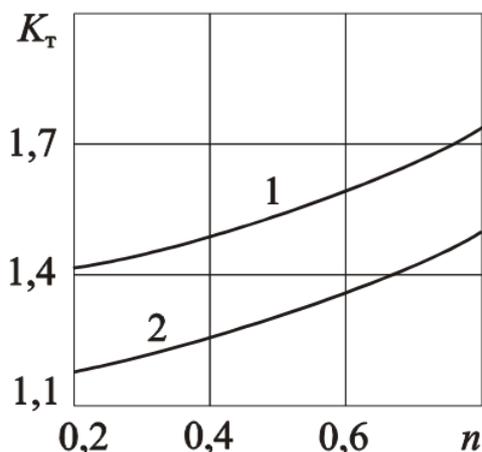


Рис. 1. Зависимости коэффициента точности АФМ от коэффициента n

Анализ графиков, показанных на рис.1, показывает:

- С увеличением коэффициента n точность срабатывания обоих вариантов АФМ уменьшается;
- Точность срабатывания второго варианта АФМ (кривая 2) выше, чем первого варианта (кривая 1).

Для установления причины более высокой точности срабатывания второго варианта АФМ обратимся к рис. 2, на котором показаны графики функции. Кривая 1 отражает график зависимости $C'_2(n)$, кривая 2 – график зависимости для второго варианта АФМ. Кривые 3 и 4 отражают соответственно зависимости $f_k(n)$ для первого варианта АФМ и для второго варианта АФМ [7].

Данные, по которым построены графики 1-4, использованы при построении кривых 1 и 2, изображенных на рис. 1, и взяты на основе расчетов по соотношениям, указанными выше.

Анализ графиков, изображенных на рис. 2, показывает:

- При одних и тех же значениях КУ C (кривая 5) для сопоставляемых вариантов АФМ величины коэффициента трения f_k различны : для второго варианта

АФМ они меньше (кривая 3 и 4), следовательно, максимальное значение вращающего момента ниже;

- Указанное соотношение величин коэффициента трения f_k достигается при одних и тех же значениях КУ C [4,5].

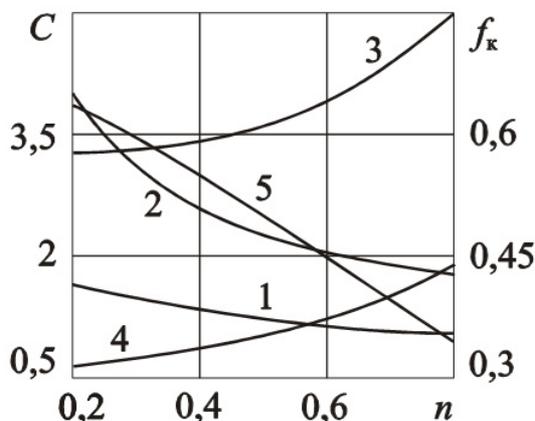


Рис. 2. Зависимости коэффициента усиления и коэффициента трения f_k от коэффициента n

Исследуем точность срабатывания второго варианта АФМ для случая, когда нагрузочная характеристика муфты представляет собой кривую, монотонно возрастающую в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, т. е. вращающий момент принимает максимальное значение при величине коэффициента трения, равной f_{\max} .

В данном случае величина коэффициента точности АФМ вычисляется по формуле:

$$K_T = \frac{f_{\max} (z - z_1 n (C f_{\max} - 1)) (1 + (z - 1) C f_{\min})}{f_{\min} (z - z_1 n (C f_{\min} - 1)) (1 + (z - 1) C f_{\max})} \quad (2)$$

Для сопоставления точности первого варианта муфты вычисляется по соотношению:

$$K_T = \frac{f_{\max} (z - (C f_{\max} - 1) n) (1 + (z - 1) C f_{\min})}{f_{\min} (z - (C f_{\min} - 1) n) (1 + (z - 1) C f_{\max})} \quad (3)$$

В формуле (3) параметр C величина которого вычисляется по соотношению:

$$C = \frac{\sqrt{1 + (z - 1)(z + n) / n} - 1}{(z - 1) f_{\max}} \quad (4)$$

Поскольку величина КУ C , как по первому, так и по второму вариантам АФМ, зависит от параметра n , сделав его аргументом исследования зависимости, используя графический способ.

На рис. 3 показаны графики упомянутых зависимостей. Кривая 1 построена по соотношению (2), кривая 2 – по соотношению (3). Соответствующие значения КУ C вычислялись по указанным выше соотношениям.

При вычислении значений для построения графиков приняты следующие исходные данные: $f_{\min} = 0,1$, $f_{\max} = 0,8$, $z = 6$, $z_1 = 3$.

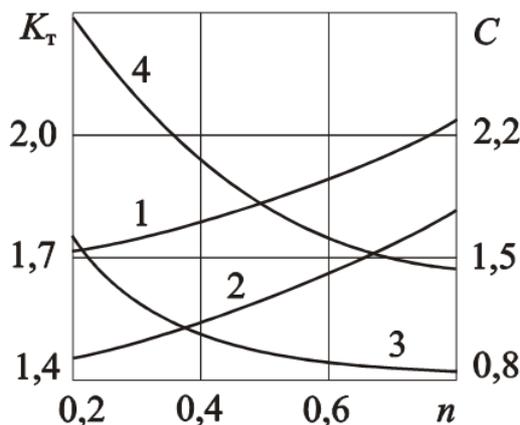


Рис. 3. Зависимости коэффициента точности АФМ и КУ от коэффициента n

Поскольку ранее было установлено, что величина КУ C , при которой оба варианта АФМ обладали нагрузочной характеристикой в форме кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, проверка текущих величин КУ C на возможность их превышения предельных значений не проводилась [7].

Анализ графиков показывает:

- Точность срабатывания обоих вариантов АФМ уменьшается при увеличении коэффициента n (кривая 1 и 2);
- Для рассматриваемого случая точность срабатывания первого варианта АФМ ниже, чем второго варианта. Для объяснения этого обратимся к кривым 3 и 4 на рис. 3. Они отражают зависимости для первого (кривая 3) и второго (кривая 4) вариантов АФМ. Кривая 3 и 4 показывают:
- Величина КУ C для обоих вариантов АФМ уменьшается при увеличении коэффициента n , что объясняет соответствующий характер изменения величины K_T (см. выше);
- Величина КУ C для первого варианта АФМ меньше, чем для второго варианта, при всех значениях коэффициента n (кривые 3 и 4), что объясняет меньшую точность срабатывания данного варианта муфты.

Исследуема точность срабатывания АФМ при условии, что нагрузочная характеристика муфты представляет собой кривую, имеющую максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ при равенстве друг другу величин вращающего момента вычисленных с учетом граничных значений коэффициента трения, принадлежащих указанному интервалу.

В данном случае величину коэффициента точности муфты будем вычислять по соотношению (1).

В качестве способа исследования примем графический способ который одновременно позволяет оценить влияние величины коэффициента и на точность срабатывания АФМ.

Для построения кривой 1 (рис. 4), отражающий зависимость $K_T(n)$, согласно соотношению (1), приняты исходные данные, те же, что и при построении графиков на рис.4. Дополнительно принято $m = 8$.

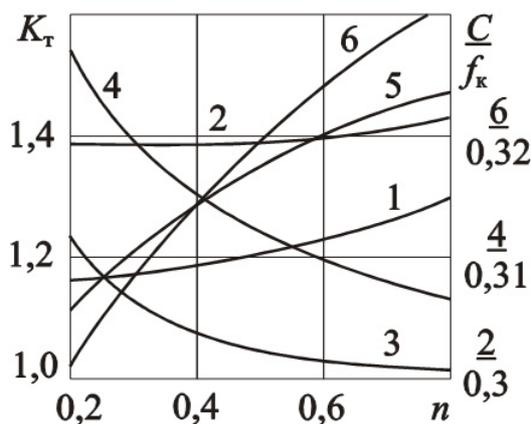


Рис. 4. Зависимости коэффициента точности, КУ и коэффициента трения f_k от коэффициента n

Кривая 2 на рис.4 отображает график зависимости $K_T(n)$ для варианта АФМ с $z_1 = 1$.

Анализ графиков показывает:

- Точность срабатывания обоих вариантов АФМ уменьшается при увеличении коэффициента n (кривые 1 и 2);
- Точность срабатывания варианта АФМ, в которой $z_1 > 1$ (кривая 1), выше, чем точность срабатывания варианта АФМ с $z_1 = 1$ (кривая 2).

Для объяснения сравнительных показателей точности срабатывания обоих вариантов АФМ обратимся к графикам 3-6, показанным на рис. 1. Кривая 3 и 4 отображает зависимость $C(n)$ соответственно для АФМ с $z_1 > 1$ и для АФМ с $z_1 = 1$. Кривая 5 и 6 отображает зависимость $f_k(n)$ соответственно для АФМ с $z_1 > 1$ для АФМ с $z_1 = 1$.

Графики 3-6 показывают, что величины КУ C для варианта АФМ с $z_1 > 1$ меньше, чем для АФМ с $z_1 = 1$, при всех значениях коэффициента n (соответственно кривые 3 и 4). Это позволяет увеличить минимальное значение вращающего момента и, соответственно, уменьшить величину K_T для данного варианта муфты [2].

Что касается соотношения величин коэффициента трения, то они практически одинаковы при значениях коэффициента n и незначительно отличаются друг от друга при значениях $n > 0,6$ (см. кривые 5 и 6). Соответственно этому величина коэффициента трения f_k мало влияет на соотношение величин коэффициента точности АФМ по сравниваемым вариантам.

Далее произведем оценку эксплуатационных показателей исследуемого варианта АФМ при помощи коэффициента K_0 (см. выше). В данном случае формула для его вычисления запишется, с учетом соотношения (2).

$$K_0 = \frac{f_{\min}^2 (z - z_1 n (c f_{\min} - 1))^2 (1 + (z - 1) c f_{\max})}{(1 + (z - 1) c f_{\min})^2 f_{\max} (z - z_1 n (c f_{\max} - 1))} \quad (5)$$

Формула (5) записана для АФМ, нагрузочная характеристика которой представляет кривую, монотонно возрастающую в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$.

Для АФМ, нагрузочная характеристика которой представляет собой кривую, имеющую максимум внутри указанного интервала значений коэффициента трения, в том числе при равенстве величин вращающего момента, соответствующих значениям коэффициента трения f_k , формула по расчету коэффициента оценки имеет следующий вид

$$K_0 = \frac{f_{\min}^2 (z - z_1 n (c f_{\min} - 1))^2 (1 + (z - 1) c f_k)}{f_k (1 + (z - 1) c f_{\min})^2 (z - z_1 n (c f_k - 1))} \quad (6)$$

Формула (6) предусматривает использование в качестве исходных данных величин КУ C , равных и меньших, чем C_k (см. выше).

На рис. 5 показаны графики зависимостей $K_0(n)$, построенные по соотношениям (5) (кривая 1) и (6) (кривая 2). Графики построены по следующим исходным данным: $f_{\min} = 0,1, z = 6, z_1 = 3$. При $f_{\max} = 0,8$ минимальная величина КУ C , которая принята в качестве ограничения снизу, составила: $C = 1,62, C = 1,14, C = 0,94, C = 0,83$.

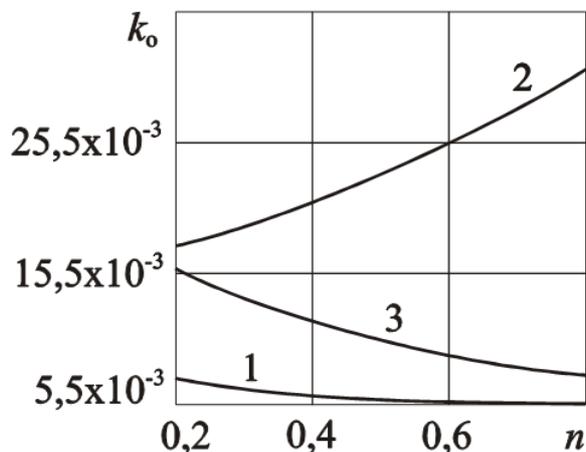


Рис. 5. Зависимости коэффициента оценки от коэффициента n

Анализ кривых 1 и 2, приведенных на рис. 5, показывает:

- Величина коэффициента K_0 уменьшается для формы нагрузочной характеристики в виде кривой, монотонно возрастающей в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ (кривая 1) при увеличении коэффициента f_k , что говорит о снижении эффективности АФМ по совокупности исследуемых характеристик;
- Величина коэффициента K_0 увеличивается для формы нагрузочной характеристики в виде кривой, имеющей максимум внутри указанного интервала значений коэффициента трения при условии равенства друг другу величин вращающего момента, соответствующих граничным значениям коэффициента трения (кривая 2);
- Значения коэффициента K_0 для АФМ, обладающей наибольшей точностью срабатывания (кривая 2), выше, чем муфты, имеющей нагрузочную характеристику в виде монотонно возрастающей кривой (кривая 1). Значения коэффициента K_0 для АФМ, нагрузочная характеристика которой имеет максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$,

смещенный в направлении значения f_{\max} относительно значения f_k , соответствующего кривой 2, является промежуточным (кривая 3).

Кривая 3 построенная при следующих значениях КУ С $C = 4, C = 2,5, C = 2, C = 1,5$. Указанным значениям КУ С соответствуют следующие величины коэффициента трения f_k : 0,364, 0,369, 0,402, 0,426. Значения коэффициента трения f_k , использованные при построении кривой 2, следующие f_k : 0,306, 0,314, 0,320, 0,324.

Сопоставление значений коэффициента трения, использованных при построении кривых 3 и 4, показывает, что вторые больше соответствующих первых, и приближаются к значению 0,8 [1].

Анализ графиков приведенных на рис. 5, показывает также, что точность срабатывания АФМ, наибольшая при реализации формы нагрузочной характеристики в виде кривой, имеющей максимум внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, при условии равенства друг другу величин вращающего момента, соответствующих граничным значениям коэффициента трения из указанного интервала, оказывает существенное влияние на параметр комплексной оценки.

Выводы

1. Установлено, что с увеличением числа пар трения ОФГ в модернизированном варианте АФМ уменьшается величина КУ С, соответствующая наибольшей точности срабатывания.
2. Полученные графики изменения коэффициента оценки комплексных показателей модернизированного варианта АФМ от величины КУ С, на основе которых определены области рационального использования параметров муфты в зависимости от выбранной целевой функции расчета – по критерию наибольшей точности или по критерию наибольшей нагрузочной способности.
3. Установлено, что применение варианта АФМ, имеющей ДФГ с числом пар трения, большим единицы, величина коэффициента трения, соответствующая максимуму вращающего момента муфты внутри интервала значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, может быть меньше, чем у варианта с одной парой трения ДФГ, при одинаковых с ним параметрах.
4. Показано, что в варианте АФМ с числом пар трения ДФГ, большим единицы, при реализации нагрузочной характеристики в форме кривой, имеющей точку максимума внутри интервала $f_{\min} \dots f_{\max}$ и одинаковые значения вращающего момента на границах указанного интервала, величина КУ С может быть меньше, чем в сопоставляемом варианте, при числе пар трения ДФГ, превышающем установленное минимальное значение.
5. Число пар трения ДФГ, согласно п.4 должно быть больше, чем число пар трения ОФГ.
6. Установлено, что вариант АФМ с числом пар трения ДФГ, большим единицы, при реализации нагрузочной характеристики в форме кривой, имеющей точку максимума, внутри интервала $f_{\min} \dots f_{\max}$, обладающей более высокой, чем вариант муфты с числом пар трения ДФГ, равным единице, точность срабатывания, в том числе, при равенстве друг другу величин вращающего

момента на границах указанного интервала.

7. Наибольшей точностью срабатывания обладает вариант АФМ, имеющий число пар трения ДФГ, большее единицы, при равенстве друг другу величин вращающего момента, соответствующих значениям коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$, и при наличии максимума величины вращающего момента внутри интервала изменения коэффициента трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкарев М.П. Адаптивные фрикционные муфты. Исследование, конструкции и расчет. Науч. издание. – Ростов н/Д: Изд-во РГАСХМ, 2002. – 228 с.
2. А. с. 1430633 СССР, МПК⁴ F 16 D 7/02. Предохранительная фрикционная муфта / М.П. Шишкарев (СССР). – № 4048607/25–27; Заявлено 26.02.86; Опубл. 15.10.88. Бюл. № 38. – 3 с.: ил.
3. Шишкарев М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 17–18.
4. Шишкарев М.П. Об ограничениях при выборе параметров некоторых типов адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2001. – № 7. – С. 8–11.
5. Шишкарев М.П. Теоретические основы применения комбинированной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 7. – С. 16–19.
6. Шишкарев М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел второго 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.
7. Есипенко Я.И. и др. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки / Я.И. Есипенко, А.З. Паламаренко, М.К. Афанасьев. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.

Рецензент: Чукарин Александр Николаевич, зав. кафедрой «Основы проектирования машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Ростовский государственный университет путей сообщения», доктор технических наук, профессор.