

## ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТАХ

Кирпиченко А.Е.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** Показано, что при автоматическом регулировании значения коэффициента усиления обратной связи в качестве параметра варьирования может быть использовано значение среднего радиуса поверхностей трения фрикционных дисков. Установлено, что использование значения среднего радиуса поверхностей трения фрикционных дисков в качестве параметра варьирования адаптивной фрикционной муфты возможно, по конструктивно-компоновочным соображениям, в ограниченном интервале изменения значения коэффициента трения. Доказано, что использование значения радиуса окружности, на которой расположены чувствительные элементы управляющего устройства, в качестве параметра регулирования муфты возможно в крайне ограниченном интервале изменения значения коэффициента трения, поскольку существует прямо пропорциональная зависимость первого параметра от второго.

**Ключевые слова:** адаптивная фрикционная муфта, положительная обратная связь, прямое регулирование, момент сил трения, стабилизация.

## QUESTIONS ABOUT APPLYING POSITIVE FEEDBACK IN ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES

Kirpichenko A. E.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** It is shown that the value of the average radius of friction surfaces of friction discs can be used as a variation parameter when the feedback gain value is automatically adjusted. It was found that the average radius of the friction surfaces of the friction discs as a parameter of variation in the adaptive friction clutches are possible, according to design-layout considerations in a limited range of changes of values of friction coefficient. It is proved that using the value of the radius of the circle on which the sensitive elements of the control unit, as a parameter regulating the coupling is possible in a very limited range of changes of values of the coefficient of friction, since there is a directly proportional relationship of the first parameter from the second.

**Keywords:** adaptive friction clutch, positive feedback, direct regulation, moment of friction forces, stabilization.

**Состояние вопроса.** В работах [1, 2, 3, 4] приведены результаты исследований адаптивных фрикционных муфт (АФМ) со смешанной – положительно-отрицательной и положительной обратной связью.

Показано, что для обеспечения теоретического постоянства значения предельного вращающего момента, передаваемого АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия, значение силы прижатия друг к другу фрикционных пар должно изменяться обратно пропорционально значению текущего коэффициента трения.

Установлено, что значение максимального отношения силы прижатия друг к другу фрикционных пар к первоначальной силе натяжения замыкающей пружины должно быть равно значению отношения максимального коэффициента трения к его минимальному значению.

Доказано, что значение коэффициента усиления (КУ) положительной обратной связи прямого (непосредственного) действия зависит обратно пропорционально от значения текущего коэффициента трения.

**Постановка задачи исследования.** Установление параметров АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия.

**Решение задачи.** Определение оптимальных конструктивных параметров КУ обратной связи.

Поскольку значение силы прижатия друг к другу фрикционных дисков определяется распорной силой  $F_{p,i}$ , подставим правые части выражений

$$T_n = zF_n R_{cp} f_{max},$$

$$F_{n,i} = F_n \frac{f_{max}}{f_i},$$

полученные в работах [5, 6], в равенство

$$F_{p,i} = \frac{T_{n,i}}{r} \operatorname{tg} \alpha,$$

приведенное в работе [7], после чего находим:

$$\frac{1}{f_i} = \frac{zR_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

При выводе соотношения (1) также использовано равенство

$$T_n = T_{n,i},$$

приведенное в работе [8], и формула

$$T_{n,i} = zF_{n,i} R_{cp} f_i,$$

приведенная в работе [9].

Выше приняты следующие обозначения:  $T_n$  – номинальный вращающий момент АФМ;  $z$  – число пар трения фрикционной группы;  $F_n$  – первоначальная сила натяжения замыкающей пружины;  $R_{cp}$  – средний радиус поверхностей трения фрикционной группы;  $f_{max}$  – максимальный коэффициент трения;  $F_{n,i}$  – текущая сила замыкания пар трения;  $f_i$  – текущий коэффициент трения;  $T_{n,i}$  – текущий предельный вращающий момент АФМ;  $\alpha$  – угол давления тел качения управляющего устройства (УУ) положительной обратной связи;  $r$  – радиус окружности, на которой расположены тела качения УУ.

Положим в соотношении (1)

$$C = \frac{zR_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha,$$

тогда указанное соотношение запишем в виде

$$\frac{1}{f_i} = zC. \quad (2)$$

Поскольку для конкретной конструктивно-компоновочной схемы АФМ выполняется условие  $z = \text{const}$ , в равенстве (2) должно быть  $C = \text{var}$ , при переменном значении коэффициента трения  $f_i$ . В связи с этим рассмотрим график изменения значения КУ  $C$  в зависимости от коэффициента трения  $f_i$ , показанный на рисунке (кривая 1). График построен при  $z = 6$ .

В качестве интервала изменения значений коэффициента трения принята совокупность реальных значений, характерных для данного параметра фрикционных материалов, наиболее часто применяемых в предохранительных фрикционных муфтах, в том числе и в АФМ [10, 11, 12].

Кривая 1 показывает, что значение КУ  $C$  убывает по мере увеличения значения текущего коэффициента трения.

Варьирование значения КУ  $C$  в процессе автоматического регулирования возможно посредством изменения одного из 3-х параметров:  $\alpha$ ,  $R_{cp}$ ,  $r$ . Если варьирование осуществляется за счет изменения значения угла давления  $\alpha$ , необходимо учитывать, что для любого значения коэффициента трения должно выполняться неравенство  $\operatorname{tg} \alpha_i > f_i$  [13, 14], где  $\alpha_i$  – текущий угол давления.

В том случае, когда варьирование значения КУ  $C$  осуществляется посредством параметра  $R_{cp}$  при постоянных значениях параметров  $\alpha$  и  $r$ , формула (10) принимает следующий вид:

$$R_{cp,i} = \frac{r}{zf_i \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

График функции (3) приведен на рисунке (кривая 2). При построении кривой 2 использованы следующие исходные данные:  $z = 6$ ,  $\alpha = \pi/4$ ,  $r = 0,03$  м.

Анализ кривой 2 показывает, что уже при значении коэффициента трения  $f_i = 0,275$  значение среднего радиуса поверхностей трения  $R_{cp}$  становится меньше, чем значение радиуса  $r$ . Для АФМ с отрицательной обратной связью [15, 16] подобное соотношение невозможно по условиям конструктивно-компоновочного решения, поскольку фрикционные диски охватывают тела качения УУ.

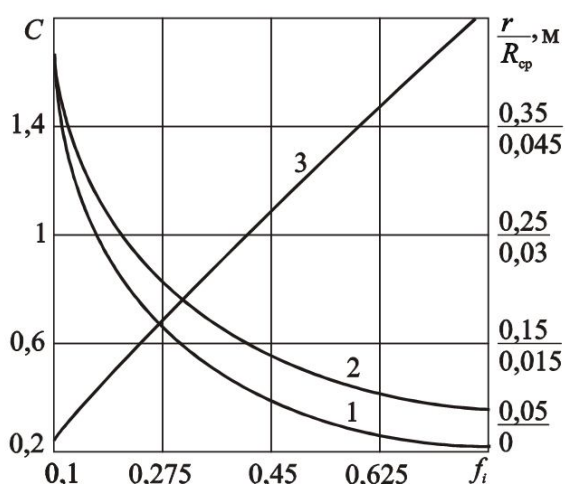


Рисунок 1 - Зависимости значений КУ,  $r$  и  $R_{cp}$  от коэффициента трения

В АФМ с положительной обратной связью возможно выполнение условия  $r > R_{cp}$ . Однако, значительное (примерно в 6 раз) уменьшение параметра  $R_{cp}$  в процессе автоматического регулирования вызывает сомнения в возможности реализации данного способа.

В АФМ с отрицательной одноконтурной обратной связью данный способ автоматического регулирования реализован, в комплексе с традиционным способом (путем автоматического изменения значения силы прижатия друг к другу фрикционных дисков) в конструкции муфты [17].

При варьировании значения КУ  $C$  за счет параметра  $r$  (при постоянных значениях параметров  $R_{cp}$  и  $\alpha$ ) на основании формулы (3) получаем:

$$r_i = zR_{cp,i}f_i \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

График функции (12), построенный при  $R_{cp}=0,1$  м,  $z=6$ ,  $\alpha=\pi/4$ , приведен на рисунке (кривая 3). Как показывает формула (4) и график, отражающий указанную зависимость, значение радиуса  $r_i$  линейно зависит от значения коэффициента трения: при отмеченном на рис. 2 интервале изменения коэффициента трения значение  $r_i$  возрастает в 8 раз. При этом с возрастанием коэффициента трения радиус  $r_i$  увеличивается настолько, что уже при значении коэффициента трения  $f_i=0,275$  значительно превышает значение среднего радиуса поверхностей трения  $R_{cp}$ .

При более высоких значениях коэффициента трения  $f_i$  радиус  $r_i$  достигает таких размеров, что необходимо увеличивать радиальные габаритные размеры муфты [18].

Обоснование принципа положительной обратной связи прямого (непосредственного) действия в составе АФМ приведено в работе [19].

**Обсуждение и результаты.** В отличие от АФМ первого и второго поколений, в АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия величина силы прижатия друг к другу фрикционных пар должна изменяться обратно пропорционально значению текущего коэффициента трения.

Значение коэффициента усиления положительной обратной связи прямого (непосредственного) действия должно быть обратно пропорционально значению текущего коэффициента трения.

В качестве параметра регулирования АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия целесообразно использование значения угла давления чувствительных элементов УУ.

Результаты исследования могут быть использованы при синтезе АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия.

#### Выводы:

1. При автоматическом регулировании значения коэффициента усиления обратной связи в качестве параметра варьирования может быть использовано значение среднего радиуса поверхностей трения фрикционных дисков.

2. Использование значения среднего радиуса поверхностей трения фрикционных дисков в качестве параметра варьирования АФМ возможно, по конструктивно-компоновочным соображениям, в ограниченном интервале изменения значения коэффициента трения.

3. Использование значения радиуса окружности, на которой расположены чувствительные

элементы УУ, в качестве параметра регулирования АФМ возможно в крайне ограниченном интервале изменения значения коэффициента трения, поскольку существует прямо пропорциональная зависимость первого параметра от второго.

4. Реализация указанных способов автоматического регулирования АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия требует дополнительного теоретического исследования и обоснования, разработки конструктивной схемы нажимного устройства с «отрицательной» силовой характеристикой.

#### **Список литературных источников**

1. Влияние точности срабатывания предохранительной муфты на выбор мощности электродвигателя привода / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 8. – С. 35–37.

2. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 18–24.

3. Шишкарёв, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцки, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.

4. Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 13–15.

5. Компоновочные решения приводов машин с адаптивными фрикционными муфтами / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2003. – № 7. – С. 7–12.

6. Шишкарёв, М.П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцки, А.Ю. Угленко // Материалы 6-й научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов н/Д, 2014. – С. 118–130.

7. Шишкарёв, М.П. Выбор формы нагрузочной характеристики первого конструктивного варианта адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М.П. Шишкарёв, А.А. Луцки / В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., в рамках 17-й Международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014», Ростов н/Д, 2014. – С. 206–209.

8. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения / М.П. Шишкарёв // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

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

10. Оптимальный способ настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 3. – С. 16–19.

11. Анализ способов настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестник машиностроения. – 2009. – № 8. – С. 29–32.

12. Шишкарёв, М.П. Исследование режима перегрузки АФМ второго поколения (базовый вариант) // М.П. Шишкарёв // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2015». 2015. С. 182–186.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.