

## ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ В ПРИВОДАХ ОБОРУДОВАНИЯ

Моисеева Н.В.

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

**Аннотация.** Осуществлена систематизация адаптивных фрикционных муфт всех типов и поколений по признакам номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания. Систематизация позволяет разделить все многообразие конструкций адаптивных фрикционных муфт на группы с особо высокой точностью срабатывания и низкой номинальной нагрузочной способностью, со средними точностью срабатывания и номинальной нагрузочной способностью и с низкой точностью срабатывания и высокой нагрузочной способностью. Выполненная систематизация позволяет определить области рационального применения групп адаптивных фрикционных муфт.

**Ключевые слова:** адаптивная фрикционная муфта, особенности, область применения, нагрузочная способность, точность срабатывания.

## THE USE OF ADAPTIVE FRICTION COUPLINGS IN THE DRIVES OF EQUIPMENT

Moiseeva N. V.

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

**Abstract.** The systematization of adaptive friction clutches of all types and generations on the basis of rated load capacity and accuracy of operation is carried out. The systematization allows us to divide all the variety of designs of adaptive friction couplings at groups with particularly high accuracy and low nominal loading capacity, with average accuracy and the rated load capacity and low accuracy and high load capacity. The carried out systematization allows to define areas of rational application of groups of adaptive friction clutches.

**Keywords:** adaptive friction clutch, features, scope, load capacity, accuracy of operation.

**Состояние вопроса.** В работах [1, 2, 3, 4] приведены результаты исследований адаптивных фрикционных муфт (АФМ) различных типов.

Показано, что разнообразие их эксплуатационных характеристик, в частности, по номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания, что требует учета эксплуатационных характеристик муфт при выборе области применения их. Установлено, что выбор точности срабатывания АФМ определяется целевой функцией, поставленной при расчетах и проектировании приводов машин, тип и поколение муфты, от которых зависит влияние точности срабатывания на ее массогабаритные показатели.

Доказано, что условием применения на практике АФМ с наибольшей точностью срабатывания является необходимость выдерживать на исполнительном органе машины фиксированное значение усилия или вращающего момента.

**Постановка задачи исследования.** Систематизация адаптивных фрикционных муфт всех типов и поколений по признакам номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания.

**Решение задачи.** Причиной оптимального сочетания эксплуатационных характеристик АФМ является раздельное силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ, а также возможность увеличения КУ выше значения, предельного для базового варианта АФМ второго поколения [5, 6, 7, 8].

Кроме того, абсолютным преимуществом по нагрузочной способности обладают АФМ с положительной обратной связью [9, 10]. Это объясняется настройкой и приблизительным сохранением номинального вращающего момента при срабатывании и максимальном значении коэффициента трения.

Точность срабатывания АФМ данного типа ниже, чем АФМ второго поколения с переменной величиной КУ (см. табл. 1), поскольку конструктивная схема УУ на основе V-образных упругих лепестковых элементов с так называемым «отрицательным» углом наклона лепестка пока не позволяет осуществить найденную теоретическим путем зависимость значения угла отклонения лепестка от текущего значения коэффициента трения [11, 12].

Разнообразие эксплуатационных характеристик АФМ различных поколений и типов,

приведенных в табл. 1, и требования к параметрам защиты и номинальной нагрузочной способности предохранительного устройства позволяют определить области применения АФМ.

Сведения об областях применения АФМ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные области применения АФМ различных типов

| Поколение, тип АФМ   | Область применения  |
|--|---|
| АФМ первого поколения (базовый вариант)                              | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +300...450 %                           |
| АФМ первого поколения (модернизированный вариант)                    | Приводы легконагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +250...400 %                                     |
| АФМ первого поколения с переменным КУ                                | Приводы легко- и средненагруженных высокоточных и прецизионных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +10...18 % |
| АФМ второго поколения (базовый вариант)                              | Приводы средне- и тяжелонагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +180...260 %                          |
| АФМ второго поколения (модернизированный вариант)                    | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +160...250 %                           |
| АФМ второго поколения (модифицированный вариант 1)                   | Приводы легконагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +10...16 %                                       |
| АФМ второго поколения (модифицированный вариант 2)                   | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +16...80 %                             |
| АФМ второго поколения (модифицированный вариант 3)                   | Приводы средне- и тяжелонагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +16...80 %                            |
| АФМ второго поколения с переменным КУ                                | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +10...16 %                             |
| АФМ первого поколения с бифункциональным УУ                          | Приводы средне- и тяжелонагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +250...400 %                          |
| АФМ первого поколения с V-образными упругими лепестковыми элементами | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +180...260 %                           |
| АФМ первого поколения с пружинами сжатия-изгиба                      | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +160...220 %                           |
| АФМ первого поколения с пружиной сжатия-кручения                     | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +320...380 %                           |
| АФМ третьего поколения со смешанной обратной связью                  | Приводы легко- и средненагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +190...250 %                           |
| АФМ третьего поколения с положительной обратной связью               | Приводы средне- и тяжелонагруженных машин, допускающих отклонение номинального вращающего момента +140...180 %                          |

Анализ областей применения АФМ.

**1. По нагрузочной способности.** Данные табл. 1 показывают следующее:

– преобладающая часть АФМ может быть использована только в приводах легко- и средненагруженных машин. Это объясняется относительно невысокой номинальной нагрузочной способностью данных типов АФМ, продиктованной ограничением их массогабаритных характеристик при определенных предельных нагрузках, превышение которых приводит к резкому увеличению габаритных размеров и массы муфт;

– к АФМ, пригодным к эксплуатации в приводах средне- и тяжелонагруженных машин, относятся АФМ второго поколения (базовый вариант и модернизированный вариант 3), АФМ первого поколения с бифункциональным УУ и АФМ третьего поколения с положительной обратной связью. Принадлежность перечисленных типов муфт к АФМ, способным передавать большие нагрузки, объясняется наличием в конструкциях АФМ второго поколения пар трения, не охваченных отрицательной обратной связью, и более рациональное использование усилия пружины (группы пружин) для силового замыкания пар трения ДФГ, совмещением в одном конструктивном узле УУ и нажимного механизма (в АФМ с бифункциональным УУ), настройкой на номинальный вращающий момент по максимальному коэффициенту трения (в АФМ с положительной обратной связью);

– к АФМ, применение которых возможно только в легконагруженных приводах машин, относятся модернизированный вариант АФМ первого поколения и первый модифицированный вариант АФМ второго поколения. Это обусловлено следствием уменьшения момента сил трения пар ДФГ АФМ второго поколения и введения полной отрицательной обратной связи в АФМ первого поколения.

**2. По точности срабатывания.** Все приведенные в табл. 1 поколения и типы АФМ можно разделить по следующим группам точности срабатывания:

Таблица 2 – Классификация АФМ различных типов по точности срабатывания

| Поколение, тип АФМ   | Класс точности срабатывания |
|--|-----------------------------|
| 1. АФМ первого поколения с переменным КУ<br>2. АФМ второго поколения с переменным КУ<br>3. АФМ второго поколения (модифицированный вариант 1)<br>4. АФМ второго поколения (модифицированный вариант 2)<br>5. АФМ второго поколения (модифицированный вариант 3)<br>6. АФМ третьего поколения с положительной обратной связью | Высокий и особо высокий     |
| 1. АФМ второго поколения (базовый вариант)<br>2. АФМ второго поколения (модернизированный вариант)<br>3. АФМ первого поколения с V-образными упругими лепестковыми элементами<br>4. АФМ первого поколения с пружинами сжатия-изгиба<br>5. АФМ третьего поколения со смешанной обратной связью                                | Средний                     |
| 1. АФМ первого поколения (базовый вариант)<br>2. АФМ первого поколения (модернизированный вариант)<br>3. АФМ первого поколения с бифункциональным УУ<br>4. АФМ первого поколения с пружинной сжатия-кручения   | Низкий                      |

Приведенная в табл. 2 классификация АФМ по точности срабатывания позволяет рекомендовать предпочтительные области применения их (в пределах каждой группы).

Для выработки рекомендаций по применению АФМ, с точки зрения точности срабатывания, используем следующие особенности выбора места установки АФМ в кинематической цепи привода машины:

– место установки АФМ в приводе машины условно разделяет кинематическую цепь на две части – часть, защищаемую муфтой от перегрузок, и часть, не защищаемую от перегрузок. Часть, защищаемая от перегрузок, заключена между АФМ и приводным двигателем, включая последний. Часть, не защищаемая от перегрузок, располагается между АФМ и исполнительным (рабочим) органом машины, включая последний. Следует отметить, что, в зависимости от скорости распространения ударной волны в незащищаемой части привода, распространяющейся в направлении от исполнительного органа машины к предохранительной муфте, каждый узел, расположенный незащищаемой части, подвергается нагрузкам неодинаковой величины вследствие следующих причин:

а) неодинаковой номинальной нагрузки, действующей на каждый узел, вследствие наличия понижающих или повышающих механических и другого типа передач;

б) переменной демпфирующей и диссипатирующей способности узлов и связей, соединяющих их между собой;

в) ограниченная скорость распространения силовой ударной волны по кинематической цепи незащищаемой части привода, зависящая от размеров поперечного сечения валопроводов и других деталей.

На основе принципа последовательного гашения силовой ударной волны можно сделать вывод о том, что более высокие нагрузки будут испытывать узлы и детали незащищаемой части привода, расположенные в непосредственной близости к источнику возникновения перегрузок – исполнительному органу машины;

– попытка увеличить защищаемую часть привода машины посредством перемещения места установки предохранительной муфты в направлении исполнительного органа, как правило, приводит к увеличению массы муфты, если привод содержит понижающие передачи;

– повышение точности срабатывания АФМ за счет увеличения КУ приводит к увеличению габаритных размеров и массы муфты почти прямо пропорционально изменению значения КУ. Это относится к тем АФМ, принципиальные и конструктивные особенности которых позволяют осуществлять практически безлимитное увеличение КУ.

Результаты исследования могут быть использованы в процессе расчетов и проектирования приводов машин и механизмов с АФМ, обладающих улучшенными показателями массогабаритных характеристик.

#### **Выводы:**

1. Одним из основных отличий АФМ от обычных предохранительных муфт, помимо повышенной точности срабатывания, является возможность варьирования последней в пределах, определяемых типом и поколением АФМ.

2. Осуществлена систематизация АФМ всех типов и поколений по признакам номинальной нагрузочной способности и точности срабатывания. Систематизация позволяет разделить все многообразие конструкций АФМ на группы с особо высокой точностью срабатывания и низкой номинальной нагрузочной способностью, со средними точностью срабатывания и номинальной нагрузочной способностью и с низкой точностью срабатывания и высокой нагрузочной способностью. Выполненная систематизация позволяет определить области рационального применения групп АФМ.

3. В числе последних разработок выделен тип АФМ второго поколения с отдельным силовым замыканием, обладающих оптимальным сочетанием точности срабатывания и номинальной нагрузочной способности. Обладая высокой точностью срабатывания и высокой номинальной нагрузочной способностью, данный тип АФМ может быть применен в приводах машин для обеспечения наилучших эксплуатационных показателей.

4. На основе систематизации разработана классификация поколений и типов существующих АФМ в зависимости от области их применения, что позволяет осуществлять рациональный выбор АФМ для достижения наилучшего производственно-эксплуатационного результата.

#### **Список литературных источников**

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

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

3. Условие высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // М.П. Шишкарёв // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 46–48.

4. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 3–8.

5. Модернизация адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв, А.Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – № 10. – С. 3–7.

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

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

8. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.

9. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твердых тел // М.П. Шишкарёв // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23.

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

11. Влияние точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт на массу привода машины / М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – № 3. – С. 6–12.

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

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.