

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

Гавриленко М.Д.

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

Аннотация. Показано, что в существующих исследованиях адаптивные фрикционные муфты рассматриваются только как предохранительные устройства для предотвращения действия перегрузок на элементы привода. Не исследовано, и при использовании адаптивных фрикционных муфт не учитывается влияние их на совокупную массу элементов привода, а также на его стоимость. Исследование и разработка новых принципиальных и конструктивных схем адаптивных фрикционных муфт с комбинированной, отрицательной двухконтурной, положительно-отрицательной и положительной обратной связью, а также совершенствование существующих муфт на базе одноконтурной отрицательной обратной связи за счет обеспечения переменного значения коэффициента усиления в зависимости от коэффициента трения и изменения внутрискруктурных связей позволяют существенно повысить точность срабатывания муфт.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, эффективность применения, предельный вращающий момент, коэффициент усиления.

FEATURES OF APPLICATION AND EFFECTIVENESS OF ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES

Gavrilenko M. D.

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

Abstract. It is shown that in existing studies of adaptive friction clutches are considered as safety devices only to prevent the action of overloads on the drive elements. The following has not been studied yet: while using adaptive frictional couplings their influence on total weight of elements of the drive, and also on its cost are not considered. Research and development of new principal and design schemes of adaptive friction clutches with combined, negative two-circuit, positive-negative and positive feedback, as well as improvement of existing clutches on the basis of single-circuit negative feedback by providing a variable value of the gain depending on the coefficient of friction and changes in intra-structural connections can significantly improve the accuracy of the couplings.

Keywords: adaptive friction clutch, application efficiency, limiting torque, gain.

Состояние вопроса. В последнее время наблюдается снижение научного и практического интереса к адаптивным фрикционным муфтам (АФМ). Это подтверждается уменьшением в отечественных и зарубежных научно-технических и патентных источниках публикаций, содержащих результаты теоретических и экспериментальных исследований, практического применения, сведения о разработках новых принципиальных и конструктивных схем АФМ.

Постановка задачи исследования. Оценка функционального назначения АФМ в составе привода машины и определение технико-эксплуатационных показателей АФМ различных типов.

Решение задачи. АФМ обладают свойствами предохранительных муфт, основным достоинством их является повышенная стабильность предельной величины вращающего момента, при котором происходит срабатывание муфты [1, 2, 3, 4]. Указанное достоинство АФМ особенно отчетливо проявляется в тех случаях, когда при эксплуатации происходит случайное изменение (в сторону увеличения или уменьшения) величины коэффициента трения под действием ряда факторов [5, 6, 7]:

- влажность окружающей среды;
- температура окружающей среды и поверхностей трения;
- наличие вибраций, действующих на механическую систему, особенно в плоскости вращения АФМ (крутильные высокочастотные колебания);
- величина контактного давления на поверхностях трения;
- скорость нарастания внешней нагрузки перед срабатыванием АФМ;
- время неподвижного контакта поверхностей трения перед срабатыванием АФМ и др.

Следует отметить также влияние на величину коэффициента трения следов износа поверхностей трения, не удаляемых из зоны трения, и изменение структуры контактирующих

поверхностных слоев пар трения в результате механического и теплового воздействия при буксовании.

Из перечисленных факторов наибольшее влияние на изменение коэффициента трения оказывает продолжительность неподвижного контакта поверхностей трения муфты перед срабатыванием ее [8].

К факторам, влияющим на стабильность предельного вращающего момента АФМ, следует также отнести износ поверхностей трения в результате буксования муфты при срабатывании, и нестабильность во времени силовой характеристики нажимного упругого элемента, осуществляющего силовое замыкание пар трения муфты [9, 10]. Эти факторы, при отсутствии мер профилактики, с течением времени уменьшают величину предельного вращающего момента, т. е. границы поля рассеивания его, хотя и не изменяют точность срабатывания муфты.

Наконец, необходимо отметить, что во многих случаях условия эксплуатации предохранительных фрикционных муфт, в том числе АФМ, характеризуются действием агрессивной окружающей среды (высокая температура, действие влаги, химических веществ и т. п.), которая способствует интенсивному протеканию окислительных процессов на поверхностях трения. Это также способствует изменению процессов трения и коэффициента трения.

Таким образом, изложенное указывает на то, что, несмотря на снижение интереса к АФМ, проблема повышения надежности работы предохранительных фрикционных муфт за счет повышения стабильности передаваемого вращающего момента еще не решена и, следовательно, является актуальной.

Основными причинами, вызвавшими снижение научного и практического интереса к АФМ, по нашему мнению, являются:

- ограниченная практическая точность срабатывания существующих АФМ, что зачастую не позволяет обеспечить высокий уровень надежности защиты приводов машин от действующих перегрузок;
- отсутствие научно обоснованных принципов системного подхода к решению задачи повышения эффективности работы АФМ в составе механической системы привода машины, и рекомендаций по выбору рациональных областей применения АФМ.

Первая причина обусловлена следующим:

- все конструктивное разнообразие существующих АФМ имеет в своей основе общую принципиальную схему, базирующуюся на применении отрицательной одноконтурной обратной связи. Существенным недостатком ее является то, что отжимная сила в управляющем устройстве (УУ) муфт возникает под действием вращающего момента фрикционной группы и управляет величиной силы прижатия друг к другу пар трения. Вследствие этого изменение величины отжимной силы УУ прямо пропорционально изменению вращающего момента муфты, что принципиально не позволяет отжимной силе изменяться по закону, необходимому для стабилизации передаваемой нагрузки;

- теоретически для почти полной стабилизации предельного вращающего момента АФМ с отрицательной одноконтурной обратной связью необходимо, чтобы значение коэффициента усиления (КУ) обратной связи было большим (порядка 80...100). При этом резко увеличивается отжимная сила УУ и, соответственно, уменьшается момент сил трения, что исключает возможность ее практического применения. Попытки увеличения нагрузочной способности муфты в этом случае требуют повышения силы натяжения замыкающей пружины, что приводит к существенному росту массы муфты;

- в практике расчетов и проектирования значение КУ существующих АФМ не превышает 5...6 [11, 12, 13]. Это обусловлено, во-первых, тем, что при больших величинах КУ коэффициент остаточного момента муфты приближается к единице, и работа ее при вращающих моментах, близких к предельным, становится неустойчивой, характеризующейся частыми повторными срабатываниями, во-вторых, тем, что при увеличении КУ свыше указанных значений существенного повышения точности срабатывания муфты не происходит [14, 15]. При указанных предельных значениях КУ точность срабатывания существующих АФМ чаще всего не удовлетворяет требованиям по надежной защите приводов машин от перегрузок.

Сущность второй причины заключается в следующем. Предохранительные муфты в составе привода машины защищают от перегрузок ту его часть, которая располагается между приводным двигателем и муфтой. Точность срабатывания предохранительной муфты влияет на уровень нагрузок, которые действуют на детали и узлы, расположенные в части привода, защищаемой муфтой. С увеличением точности срабатывания предохранительной муфты величина нагрузок, действующих на защищаемую часть привода, уменьшается и наоборот. Уменьшение действующих нагрузок означает соответствующее уменьшение величины механических напряжений в деталях привода и возможность расчета их рациональных размеров, соответствующих действующим нагрузкам. По сравнению с предохранительными фрикционными муфтами неадаптивного типа [16], обладающими меньшей точностью срабатывания по сравнению с АФМ, это означает уменьшение размеров деталей и узлов привода машины и, следовательно, их массы и стоимости [17, 18].

Точность срабатывания существующих АФМ можно изменять исключительно за счет варьирования значения КУ [19]. При увеличении КУ (в указанных выше пределах) происходит рост массы муфты, как показывают исследования, практически пропорционально значению КУ [20]. Следовательно, при увеличении КУ, например, от 1 до 5, исходная масса АФМ, соответствующая КУ, равном 1, возрастает в 5 раз.

Одновременно с этим появляется возможность уменьшения массы деталей и узлов защищаемой части привода. Таким образом, при увеличении точности срабатывания АФМ происходит изменение совокупной массы элементов защищаемой части привода (деталей механических передач, соединительных муфт, рамы привода, двигателя и т. п.) и АФМ.

Исследования показали, что при фиксированном месте установки АФМ в приводе машины и увеличении КУ от исходного минимального значения наблюдается уменьшение совокупной массы элементов защищаемой части привода [21]. При этом совокупная масса элементов защищаемой части привода и АФМ может становиться минимальной либо при максимальной величине КУ, либо при величине, попадающей внутрь интервала варьирования величины КУ. Это зависит от размеров защищаемой части привода, т. е. от количества входящих в нее элементов, и от их совокупной исходной массы, соответствующей исходной минимальной величине КУ.

Кроме того, ряд исследований [22, 23] показывает, что совокупная масса привода, т. е. защищаемой и незащищаемой (расположенной между рабочим органом машины и АФМ) частей, изменяется в зависимости от места установки муфты в кинематической цепи привода. Установлено, что при фиксированной точности срабатывания АФМ существует единственное место ее установки, когда совокупная масса привода минимальная.

Очевидно, что и габаритные размеры привода, и стоимость входящих в него элементов также будут минимальными. В данном случае изменение места установки АФМ в приводе в направлении от приводного двигателя к рабочему органу машины приводит к увеличению защищаемой части привода и, в связи с этим, к росту массы ее элементов и одновременно с этим – к уменьшению незащищаемой части и массы ее элементов. При этом в результате изменения места установки АФМ в приводе машины увеличивается номинальный вращающий момент муфты (при наличии в защищаемой части привода понижающих передач) и практически прямо пропорционально ему растет собственная масса муфты [24].

Необходимо учитывать также возможное уменьшение массы тех элементов и узлов привода, которые при изменении места установки АФМ переходят из незащищаемой части в защищаемую часть, что связано с уменьшением действующих на них предельных нагрузок.

В результате этого функция, представляющая зависимость общей массы элементов привода от номера участка привода, на котором установлена АФМ, имеет минимум при определенном номере участка.

Эффект абсолютного уменьшения совокупной массы элементов привода в результате рационального выбора места установки АФМ в кинематической цепи зависит от ее протяженности, исходной (первоначальной) совокупной массы элементов привода и точности срабатывания муфты. Очевидно, что упомянутый максимальный эффект будет достигнут в том случае, когда точность срабатывания АФМ также максимальная.

Результаты исследования могут быть использованы при выборе типа, расчетах и проектировании АФМ с учетом конкретной компоновочной схемы привода машины и места установки муфты в кинематической цепи привода.

Выводы:

1. Снижение научного и практического интереса к АФМ связано с ограниченными возможностями применяемой в них одноконтурной отрицательной обратной связи, не позволяющей существенно повысить их точность срабатывания, и отсутствием научных обоснований рационального применения АФМ в приводах машин.

2. В существующих исследованиях АФМ рассматриваются только как предохранительные устройства для предотвращения действия перегрузок на элементы привода. Не исследовано и при использовании АФМ не учитывается влияние их на совокупную массу элементов привода, а также на его стоимость.

3. Исследование и разработка новых принципиальных и конструктивных схем АФМ с комбинированной, отрицательной двухконтурной, положительно-отрицательной и положительной обратной связью, а также совершенствование существующих АФМ на базе одноконтурной отрицательной обратной связи за счет обеспечения переменной величины КУ в зависимости от коэффициента трения и изменения внутрисконструктурных связей позволяют существенно повысить точность срабатывания АФМ.

Список использованных источников

1. Шишкарев, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография // М.П. Шишкарев, А.А. Луцки, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.
2. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 18–24.
3. Условие высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // М.П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 46–48.
4. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 3–8.
5. Шишкарев, М.П. Исследование базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарев // 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. 162–167.
6. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел / М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – № 4–6. – С. 43–47.
7. Шишкарев, М.П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарев, 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.
8. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.
9. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твердых тел // М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23.
10. Выбор типа предохранительного устройства привода машины / М.П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – № 12. – С. 3–5.
11. Влияние точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт на массу привода машины / М.П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – № 3. – С. 6–12.
12. Влияние величины коэффициента усиления на массу адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 2. – С. 88–93.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.