

## **Обратите внимание!**

### **Статья отозвана (ретрагирована)**

#### **Статья**

**Кобзев К.О., Гвоздикова О.Ю., Гребёнкин Р.В., Воронцов А.О.** Исследование нагрузочной способности предохранительных адаптивных фрикционных муфт второго поколения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/149TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**отозвана (ретрагирована) редакцией журнала в соответствии с правилами отзыва (ретракции) Интернет-журнала «Науковедение»**

<http://naukovedenie.ru/retraction.php>

**В ходе дополнительной проверки выяснилось, что значительную часть статьи составляют некорректные заимствования из следующих источников:**

**Бойко Н.И., Чукарин А.Н., Вяликов И.Л., Гиль Н.А.** Исследование нагрузочной способности адаптивных фрикционных муфт // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015)  
<http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**Редакция приносит извинения читателям за доставленные неудобства**

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/149TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/149TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/149TVN515>)

УДК 621.816

**Кобзев Кирилл Олегович**

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону<sup>1</sup>

Преподаватель кафедры «Естественные науки»

E-mail: [kozzevkirill1990@mail.ru](mailto:kozzevkirill1990@mail.ru)

**Гвоздиков Олег Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: [Olegfavorit777@mail.ru](mailto:Olegfavorit777@mail.ru)

**Гребёнкин Роман Викторович**

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Ведущий инженер кафедры «Электротехника и электроника»

E-mail: [Roman-viktorovich@yandex.ru](mailto:Roman-viktorovich@yandex.ru)

**Воронцов Александр Олегович**

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант кафедры «Технология машиностроения»

E-mail: [Mr.killer@haker.ru](mailto:Mr.killer@haker.ru)

**Исследование нагрузочной способности  
предохранительных адаптивных фрикционных муфт  
второго поколения**

---

<sup>1</sup> 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

**Аннотация.** Проведенные исследования показали, что адаптивные фрикционные муфты с отдельным силовым замыканием основной фрикционной группы и дополнительной фрикционной группы обладают более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом адаптивных фрикционных муфт второго поколения. Однако точность срабатывания является не единственным эксплуатационным показателем предохранительной муфты, в том числе адаптивных фрикционных муфт. Вторым важным эксплуатационным показателем адаптивных фрикционных муфт является нагрузочная способность. Вопрос об оценке нагрузочной способности исследуемой адаптивной фрикционной муфты противоречив, поскольку, как правило, повышение точности срабатывания отрицательно влияет на нагрузочную способность. Однако в исследуемой адаптивной фрикционной муфте имеется возможность увеличения числа пар трения дополнительной фрикционной группы без потери точности срабатывания, как это наблюдается у базового варианта адаптивных фрикционных муфт второго поколения. Очевидно, что увеличение числа пар трения дополнительной фрикционной группы приводит к повышению нагрузочной способности муфты.

**Ключевые слова:** фрикционная муфта; адаптивный фрикционный контакт; коэффициент трения; распорная сила; дополнительная фрикционная группа; основная фрикционная группа.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кобзев К.О., Гвоздикова О.Ю., Гребёнкин Р.В., Воронцов А.О. Исследование нагрузочной способности предохранительных адаптивных фрикционных муфт второго поколения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/DOI/149TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/149TVN515

Проведенные исследования [1, 3, 4, 6, 7] показали, что адаптивные фрикционные муфты (АФМ) с раздельным силовым замыканием основной фрикционной группы (ОФГ) и дополнительной фрикционной группы (ДФГ) обладает более высокой точностью срабатывания по сравнению с базовым вариантом АФМ второго поколения. Однако точность срабатывания является не единственным эксплуатационным показателем предохранительной муфты, в том числе АФМ.

Вторым важным эксплуатационным показателем АФМ является нагрузочная способность. Вопрос об оценке нагрузочной способности исследуемой АФМ противоречив, поскольку, как правило, повышение точности срабатывания отрицательно влияет на нагрузочную способность [7, 8].

Однако в исследуемой АФМ имеется возможность увеличения числа пар трения ДФГ без потери точности срабатывания, как это наблюдается у базового варианта АФМ второго поколения. Очевидно, что увеличение числа пар трения ДФГ приводит к повышению нагрузочной способности муфты.

Оценку нагрузочной способности, исследуемой АФМ будем производить посредством сопоставления аналитических форм представления вращающих моментов муфт. При проведении оценки будем учитывать только номинальные вращающие моменты муфт, которыми они обладают при минимальных значениях коэффициента трения [2].

Для сопоставления нагрузочной способности исследуемой муфты и базового варианта АФМ второго поколения запишем выражение для вычисления номинальной величины вращающего момента последней [1]:

$$T_{n1} = F_n R_{cp} f_{min} \frac{z + 1 - C^* f_{min}}{1 + (z - z_2) C^* f_{min}}, \quad (1)$$

где  $C^*$  – КУ базового варианта АФМ второго поколения.

Остальные обозначения параметров в выражении (4.3.42) см. выше.

Заменим параметр  $f$  на  $f_{min}$ , примем  $z_1 = 1$  (как в базовом варианте АФМ второго поколения) и получим:

$$C < \frac{[z(z - z_2) + 1]C^* f_{min} + (1 - n)[1 + (z - z_2)C^* f_{min}] - 1}{f_{min} \{ (z - z_2)(z + 1 - C^* f_{min}) + z_2(1 - n)[1 + (z - z_2)C^* f_{min}] \}}. \quad (2)$$

Формула (2) показывает ограничение сверху величины КУ  $C$ , при выполнении выше поставленного условия.

График функции  $C(n)$ , построенный по зависимости (2), показан на рис. 1 (кривая 1). График построен по следующим исходным данным:  $z = 8$ ,  $z_2 = 6$ ,  $f_{min} = 0,1$ . Величина КУ  $C^*$  вычислялась при  $z_1 = 1$  (согласно принятому выше условию, по которому достигается наибольшая точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения) и при  $f_{max} = 0,8$ : она составила  $C^* = 1,25$ .

Кривая 2 на рис. 1 отражает зависимость (1); она построена для контроля соответствия величины КУ  $C$  предельно допустимому ее значению. Кривая 3 отражает зависимость (2) и построена при значениях  $z = 4$ ,  $z_1 = 2$ .

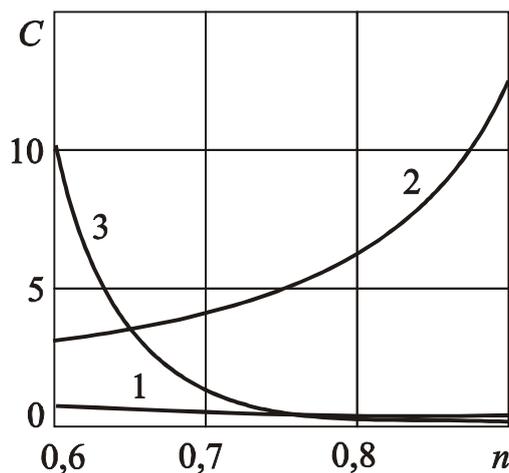


Рис. 1. Графики зависимости  $C(n)$

Анализ графиков показывает:

- с увеличением коэффициента  $n$  величина КУ  $C$  уменьшается (кривые 1 и 3);
- с уменьшением величин параметров  $z$  и  $z_2$  величина КУ  $C$  также уменьшается (кривая 3);
- для принятых при построении кривых 2 и 3 исходных данных (см. выше) величины КУ  $C$ , необходимые для выполнения неравенства  $T_n > T_{n1}$ , удовлетворяют условию  $C < C_1$ .

Поскольку требуемые значения КУ не только удовлетворяют поставленному условию  $C < C_1$ , но и значительно меньше величины КУ  $C^*$ , принятой при построении графиков, необходима оценка точности срабатывания исследуемой АФМ. Это связано с тем, что при уменьшении величины КУ  $C$  снижается точность срабатывания АФМ [7, 8].

Графики, отражающие точность срабатывания исследуемой АФМ при ограничении величины КУ  $C$ , обеспечивающем более высокую нагрузочную способность муфты, показаны на рис. 2. Кривая 1 отражает зависимость при значениях КУ  $C$  согласно кривой 1 на рис. 1, кривая 2 – при значениях КУ  $C$  согласно кривой 3 на том же рисунке.

Кривые 1 и 2 на рис. 2 построены по соотношению (1) с использованием тех же исходных данных, что и при построении кривых 1 и 3 на рис. 1. При построении кривых 1 и 2 учитывалось варьирование величины коэффициента  $n$  согласно данным рис. 1.

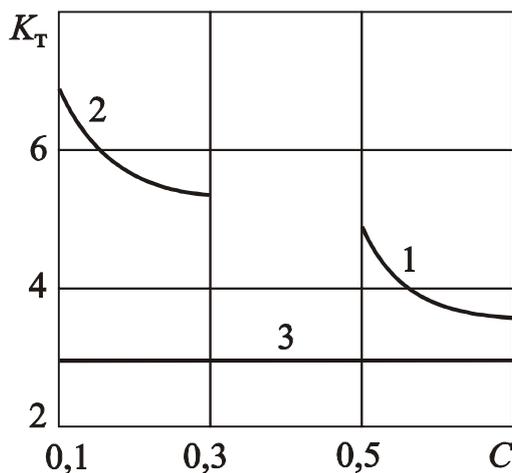


Рис. 2. Графики зависимостей  $K_T(C)$

Анализ графиков, изображенных на рис. 2, показывает:

- точность срабатывания АФМ увеличивается по мере возрастания величины КУ  $C$ ;
- вычисленные значения КУ  $C$  обеспечивают точность срабатывания исследуемой АФМ, меньшую, чем точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения. Об этом свидетельствует рассмотрение кривых 1 и 2 и прямой 3, отражающей точность срабатывания последней из упомянутых муфт.

Прямая 3 построена по тем же исходным данным, что и кривые 1 и 2, при  $C^* = 1,25$ . В данном случае нагрузочная способность исследуемой АФМ равна нагрузочной способности базового варианта АФМ второго поколения (при указанных на рис. 2 значениях КУ  $C$ ) и выше – при значениях КУ  $C$ , меньших, чем значения, принадлежащие кривым 1 и 2.

Как было указано выше, резерв повышения нагрузочной способности исследуемой АФМ заключается в увеличении числа пар трения  $z_1$  ДФГ. При этом величина КУ  $C$  также может быть увеличена посредством приближения к единице величины коэффициента  $n$ .

Однако прежде установим возможность реализации неравенства  $T_n > T_{n1}$  при одном и том же значении КУ  $C$  для обеих муфт и при  $z_1 = 1$ . Приравняв друг другу правые части при условии  $C = C$  и  $f = f_{min}$  в соотношении (1) и выделив в числителях полученного равенства идентичные одна другой части (знаменатели левой и правой части равенства идентичны друг другу), получим [3, 4]:

$$1 - Cf_{min} = (1 - n)(1 - z_2 Cf_{min}). \quad (3)$$

Предполагаемое равенство (3) в действительности неосуществимо, поскольку даже при  $n_2 = 1$  его правая часть меньше левой части из-за множителя  $1 - n$  (при  $1 > n > 0$ ). Следует отметить, что структура правой части равенства (3), отличающаяся от исходного многочлена в числителе соотношения (1), приведена к данному виду вследствие необходимости получения того же знака, что и перед двучленом, стоящим в левой части равенства (3).

Поскольку правая часть равенства (3) относится к исследуемой АФМ, можно сделать вывод о том, что при равных друг другу величинах КУ  $C$  для сравниваемых АФМ

нагрузочная способность исследуемой АФМ ниже при любых реальных значениях параметра  $z_2$ .

Изложенное выше исследование нагрузочной способности АФМ предпринято потому, что результаты анализа графиков, изображенных на рис. 2, отражают лишь частный пример, составленный на конкретных исходных данных [5, 6].

Рассмотрим вариант АФМ, когда  $z_1 > 1$ . В этом случае в правой части равенства (3) появляется множитель  $z_1$ , поэтому нагрузочная способность исследуемой АФМ будет выше, чем нагрузочная способность базового варианта АФМ, при условии

$$z_1^* > \frac{1 - C^* f_{\min}}{(1 - n)(1 - z_2 C f_{\min})}. \quad (4)$$

В соотношении (4) вновь введен параметр  $C^*$  вместо  $C$ .

В базовом варианте АФМ принято  $z_1 = 1$ , поскольку с увеличением  $z_1$  уменьшается предельная величина КУ  $C^*$  и, соответственно точность срабатывания муфты.

График функции  $z_1^*(C)$ , построенный по формуле (4) приведен на рис. 3 (кривая 1). График построен по следующим исходным данным:  $C^* = 1,25$ ,  $f_{\min} = 0,1$ ,  $z_2 = 1$ ,  $n = 0,6$ . Кривая 2 на рис. 3 отображает предельно допустимое значение параметра  $z_1$ , с учетом предельной величины КУ  $C$ , и построена по зависимости

$$z_1 = \frac{1}{(1 - n) C f_{\max}}, \quad (5)$$

вытекающей из соотношения (1).

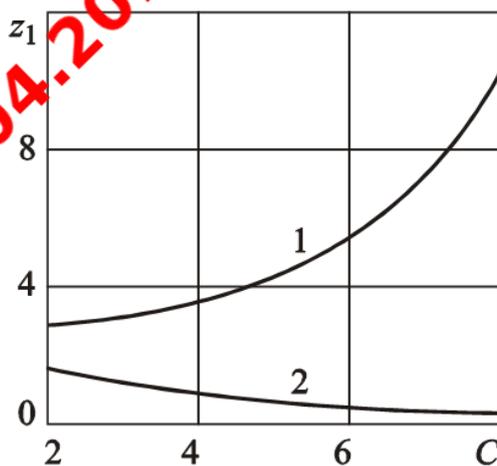


Рис. 3. Графики зависимости  $z_1(C)$

Анализ кривых 1 и 2 на рис. 3 показывает, что при принятых исходных данных условие  $z_1^* \leq z_1$  по соотношениям (4) и (5) не выполняется: кривая 1 располагается выше кривой 2 при всех значениях КУ  $C$  (в пределах оси абсцисс). Следовательно, в данном случае нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть больше, чем у базового варианта АФМ второго поколения из-за ограничения величины параметра  $z_1$  [2].

Для обобщения полученного результата и исключения влияния на последний параметра  $n$  составим следующее выражение, основанное на равенстве друг другу правых частей соотношений (4) и (5):

$$C = \frac{1}{f_{\max} - C^* f_{\min} f_{\max} + f_{\min}}. \quad (6)$$

Учитывая, что в выражении (6)  $C^* = 1 / f_{\max}$ , приходим к соотношению

$$C = \frac{1}{f_{\max}}. \quad (7)$$

Последнее соотношение показывает, что для выполнения равенства  $z_1^* = z_1$  величина КУ  $C$  исследуемой АФМ должна быть равна предельному значению КУ  $C^*$  (при  $z_1 = 1$  – в последнем случае).

Полученный результат еще не означает, что нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть выше, чем базового варианта АФМ. Действительно, при фиксированной предельно допустимой величине КУ  $C$ , вычисляемой по соотношению (7), число пар трения  $z_1$  можно выбирать меньшим, чем допустимое значение, вычисляемое по формуле (6). Однако это приводит к уменьшению многочлена  $z_1^{(1-n)}(1 - z_2 C f_{\min})$  в формуле (4) и, следовательно, к снижению нагрузочной способности АФМ.

Подставив правую часть соотношения (6) в формулу (10), приняв  $z_2 = 1$  и учитывая при этом соотношение (5), приходим к выражению (4). Это означает, что при  $C = C^*$  нагрузочные способности сравниваемых муфт равны.

Нагрузочная способность исследуемой АФМ не может быть выше, чем нагрузочная способность базового варианта АФМ второго поколения.

Полученный результат относится к номинальным вращающим моментам сравниваемых АФМ, вычисляемым с учетом минимального значения коэффициента трения. Точность срабатывания АФМ зависит также от максимального значения вращающего момента, который вычисляется при максимальной величине коэффициента трения, учитывая характер нагрузочной кривой КУ  $C$ , ниже критического (см. выше).

При  $z_2 = 1$  и при  $C = 1 / f_{\max}$  сравниваемые АФМ, как показывают вычисления, обладают одинаковым вращающим моментом. Следовательно, обе муфты при указанном условии имеют не только одинаковую нагрузочную способность, но и одинаковую точность срабатывания. Данный результат справедлив при величинах КУ  $C$ , вычисляемых по соотношению (1).

Если равным образом изменить число пар трения  $z_2$  в обеих муфтах, то это скажется на нагрузочной способности, при этом увеличение параметра  $z_2$  приведет к уменьшению вращающего момента исследуемой АФМ и к увеличению вращающего момента базового варианта АФМ второго поколения.

Исследуем, в связи с этим, точность срабатывания АФМ. При увеличении  $z_2$  до 4 для исследуемой АФМ  $k_{\tau} = 1,41$ , для базового варианта АФМ –  $k_{\tau} = 2,16$ . При этих же данных

номинальный вращающий момент исследуемой АФМ равен 45,36 Нм, а момент базового варианта АФМ – 47,36 Нм.

Результаты показывают, что точность срабатывания исследуемой АФМ значительно выше, чем базового варианта АФМ, при сопоставимой нагрузочной способности обеих муфт. Данные получены при одинаковых значениях параметров муфт, влияющих на их нагрузочные и точностные показатели.

#### Выводы

1. Конструктивно-компоновочная схема базового варианта АФМ второго поколения ограничивает точность срабатывания муфты за счет ограничения величины КУ обратной связи.
2. Теоретической основой основной идеи исследования, заключающейся в разделении усилий, прилагаемых к парам трения ОФГ и ДФГ, является установленная ранее закономерность между точностью срабатывания базового варианта АФМ второго поколения и моментом сил трения ДФГ.
3. Идея отдельного силового замыкания фрикционных групп в проведенном исследовании реализована посредством общего силового замыкания обеих фрикционных групп от одного силового нажимного элемента и локального силового замыкания пар трения ОФГ от второго силового нажимного элемента.
4. Установлено, что, по условию работы АФМ с отдельным силовым замыканием в адаптивном режиме при всех значениях коэффициента трения, величина КУ зависит от соотношения усилий силовых нажимных элементов и может быть больше КУ АФМ второго поколения (базовый вариант).
5. Предельная величина КУ АФМ с отдельным силовым замыканием возрастает с увеличением отношения усилия замыкания пар трения ОФГ к общему усилию замыкания всех пар трения АФМ.
6. Исследование точности срабатывания АФМ с отдельным силовым замыканием фрикционных групп показало, что реальная нагрузочная характеристика муфты может отражаться кривой, возрастающей в интервале изменения величины коэффициента трения, или кривой, имеющей точку максимума внутри упомянутого интервала.
7. Показано, что наиболее высокую точность срабатывания муфта показывает, в случае наличия максимума кривой нагрузочной характеристики внутри интервала изменения величины коэффициента трения, если величины вращающего момента при минимальном и максимальном значениях коэффициента трения одинаковы.

Установлено, что при указанном в п.7 условии максимум кривой нагрузочной характеристики достигается при определенной величине КУ обратной связи, которая зависит от числа пар трения фрикционных групп и относительной ширины интервала изменения коэффициента трения.

9. Найдена математическая зависимость для вычисления величины коэффициента трения, при которой вращающий момент АФМ достигает максимального значения внутри интервала его изменения при условии равенства друг другу вращающих моментов при граничных значениях коэффициента трения.
10. Для получения реального максимума величины вращающего момента при значениях коэффициента трения, находящихся внутри интервала его изменения,

и при равенстве друг другу величин вращающего момента при граничных значениях коэффициента трения число пар трения ДФГ должно быть больше, чем общее число пар трения ОФГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
2. Есипенко Я.И., Паламаренко А.З., Афанасьев М.К. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки. – Киев: Техніка, 1972. – 168 с.
3. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1975. – 479 с.
5. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. Справочник. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
6. Шишкарев М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – №4-6. – С. 43-47.
7. Шишкарев М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел / В сб. «Конструктивно-технологическое и организационное обеспечение гибкого автоматизированного производства сельскохозяйственных машин», Ростов н/Д, РГАСХМ. – 1996. – С. 162-169.
8. Шишкарев М.П. Об ограничениях при выборе параметров некоторых типов адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2001. – №7. – С. 8-11.

**Рецензент:** Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

**Kobzev Kirill Olegovich**  
Don State Technical University  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

**Gvozdikov Oleg Yrievich**  
Don State Technical University  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: Olegfavorit777@mail.ru

**Grebenkin Roman Viktorovich**  
Don State Technical University  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: Roman-viktorovich@yandex.ru

**Voroncov Alexander Olegovich**  
Don State Technical University  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: Mr.killer@haker.ru

## Research of loading of the safety slip clutch adaptive second generation

**Abstract.** The studies have shown that adaptive friction clutches with separate force-friction core group and an additional friction group has higher precision of operation as compared to the base case of the second generation of the AFM. However, response accuracy is not the only measure of performance safety coupling including AFM. Another important performance indicator is the load capacity of the AFM. The question of assessing the load capacity of the AFM investigated controversial because, as a rule, improve the accuracy of operation of a negative effect on the load carrying capacity. However, the AFM has investigated the possibility of increasing the number of pairs of friction FGD operation without loss of accuracy, as is observed in the basic version of the second generation of the AFM. It is obvious that an increase in the number of pairs of friction DPG increases the load capacity of the coupling.

**Keywords:** clutch; adaptive frictional contact; the coefficient of friction; spacer force; additional friction group; the main group of friction.

## REFERENCES

1. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Proc. aid for technical colleges. Ed. 5th, revised. and add. - M.: Higher School, 1977. - 479 p.
2. Yesipenko Frenkel Palamarenko A.Z., Afanasyev M.K. Clutches high accuracy load limit. - Kiev: Tehnika, 1972. - 168 p.
3. Kragelsky I.V., Vinogradova I.E. The coefficients of friction. - M.: Mashgiz, 1962. - 220 p.
4. Kragelsky I.V. Friction and wear. - M.: Engineering, 1975. - 479 p.
5. Kragelsky I.V., Mihin N.M. Friction units of machines: Directory. - M.: Engineering, 1984. - 280 p.
6. Shishkarev M.P. Problems in the theory of adaptive frictional contact of solid bodies // Math. universities. Mechanical Engineering. - 1994. - №4-6. - S. 43-47.
7. Shishkarev M.P. Problems in the theory of adaptive frictional contact solids / B Sat. "Constructional-technological and organizational support for flexible automated production of agricultural machinery", Rostov n / D F G A S K H M. - 1996. - S. 162-169.
8. Shishkarev M.P. For limitations when choosing the parameters of some types of adaptive friction clutches // Vestn. mechanical engineering. - 2001. - №7. - pp. 8-11.

RETRACTED 27.04.2017

ОТЗВАНА 27.04.2017