

## МЕХАНИЗМ СВОБОДНОГО ХОДА РЕЛЕЙНОГО ТИПА

С.В. АЛЮКОВ

Описываются новые перспективные конструкции механизмов свободного хода. В этих конструкциях через заклинивающие элементы механизмов передается только часть вращающего момента, а основная его часть передается через фрикционные поверхности, что позволяет разгрузить заклинивающие элементы и значительно повысить надежность и долговечность механизмов свободного хода по сравнению с известными схемами. Проведено исследование перераспределения величины крутящего момента, передаваемого через заклинивающие элементы и фрикционные дисковые поверхности. Показана принципиальная возможность снижения величины передаваемого момента через заклинивающие элементы в десятки и сотни раз.

Механизмы свободного хода являются устройствами для передачи вращательного движения лишь в одном направлении. Эти механизмы широко используются в машиностроении, например, в гидротрансформаторах (установка реакторного узла), в импульсных бесступенчатых передачах, инерционных автоматических трансформаторах вращающего момента, в электро-стартерных системах запуска двигателей, в приводе различных металло- и деревообрабатывающих станков и в других подобных механизмах, где передача вращающего момента осуществляется только в одном направлении и только при одинаковых скоростях вращения ведущего и ведомого звеньев.

К сожалению, существующие конструкции механизмов свободного хода отличаются недостаточной надежностью и долговечностью и, во многих случаях, лимитируют надежность всего привода в целом. Так, например, в стартерных системах запуска двигателя механизм свободного хода приходится заменять несколько раз за время эксплуатации автомобиля. Именно недостаточная долговечность механизмов свободного хода сдерживает широкое применение инерционных автоматических бесступенчатых механических передач, обладающих целым рядом преимуществ по сравнению с передачами других типов.

Существует множество различных конструкций механизмов свободного хода [1]: роликовые (рис. 1), эксцентриковые, храповые, пружинные и т.д. Но, несмотря на такое разнообразие конструкций и большие усилия по созданию надежных механизмов свободного хода [2-5], эти механизмы по-прежнему остаются самыми слабыми звеньями во многих приводных системах. Поэтому создание надежного механизма свободного хода является актуальной проблемой машиностроения.

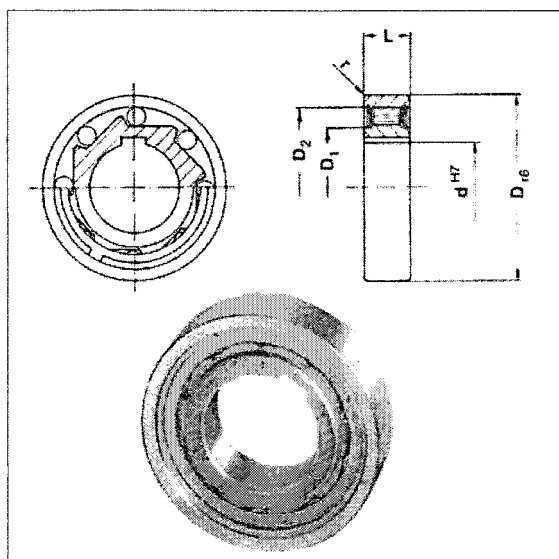


Рис. 1. Роликовый механизм свободного хода

В механизмах свободного хода фрикционного типа, работающих на основе сил трения, контакт заклинивающих элементов с ведущей и ведомой обоями часто происходит по линии, что приводит к большим контактным напряжениям и, как следствие, к быстрой потере работоспособности механизмов. Поэтому были разработаны конструкции механизмов свободного хода, в которых передача вращающего момента происходит по поверхности. Например, автором были разработаны конструкции механизма свободного хода [6], в которых крутящий момент передается по фрикционным торцевым плоскостям ведущего и ведомого валов. Одна из модификаций такого механизма свободного хода изображена на рис. 2.

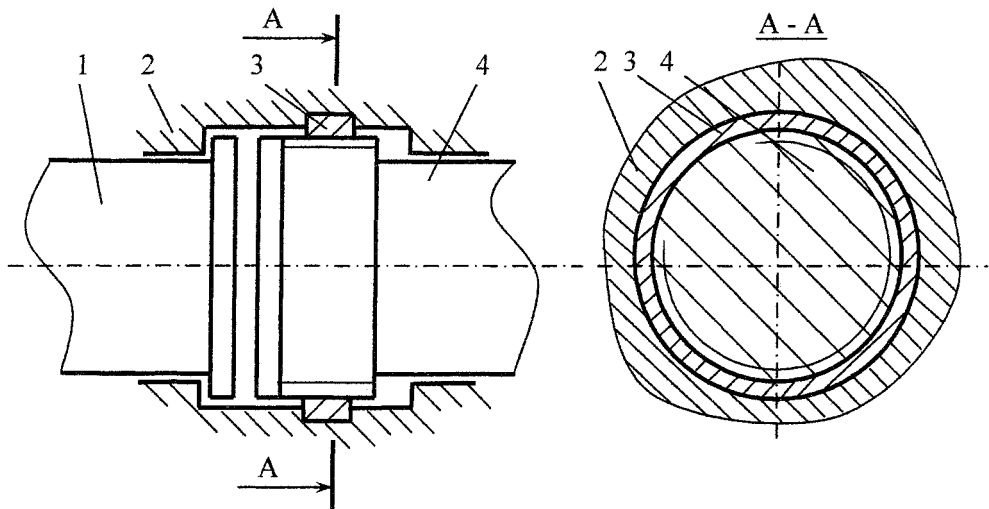


Рис. 2. Механизм свободного хода с контактом по фрикционным плоскостям

В этом механизме свободного хода гайка 3 навинчена на резьбовую часть ведущего вала 4 и установлена в корпусе 2 с некоторым натягом, но с возможностью проворота при приложении некоторой величины крутящего момента.

При вращении ведущего вала 4 в направлении рабочего хода происходит осевое перемещение вала 4 в сторону ведомого вала 1. При этом гайка 3 неподвижна относительно корпуса 2, т.к. установлена с гарантированным натягом. Соединение «винт - гайка» работает как винтовая передача, происходит выборка зазора между торцевыми плоскостями ведущего вала 4 и ведомого вала 1. Осевое перемещение происходит до тех пор, пока торцевая плоскость вала 4 не упрется в торцевую плоскость вала 1. Так как вал 1 не допускает осевого перемещения, то дальнейшее осевое перемещение становится невозможным. Поэтому вращающий момент, действующий на валу 4, преодолеет момент трения, образованный натягом гайки 3, и вызовет вращение гайки 3 в корпусе 2. При этом вал 4, гайка 3 и ведомый вал 1 будут вращаться как одно целое. Происходит передача вращающего момента с ведущего вала на ведомый вал.

При изменении направления вращения ведущего вала 4 гайка 3 остается в корпусе 2 неподвижной за счет величины гарантированного натяга. Соединение вала 4 с гайкой 3 работает как винтовая передача. Ведущий вал отходит от ведомого вала 1. Между торцевыми фрикционными поверхностями валов образуется зазор. Вращающий момент с ведущего вала на ведомый передаваться не будет. Осевое перемещение вала 4 происходит до тех пор, пока не произойдет выборка резьбовой части этого вала. Дальнейшее осевое перемещение вала 4 становится невозможным, поэтому вращающий момент, действующий на ведущий вал 4, преодолеет момент сопротивления вращению гайки 3 от натяга. Гайка 3 начнет вращаться вместе с валом 4 в корпусе 2 как одно целое. Так осуществляется свободный ход.

Главным недостатком рассмотренной схемы механизма свободного хода является пробуксовка гайки 3 в корпусе 2 в моменты прямого и обратного хода и все отрицательные моменты, связанные с этой пробуксовкой. Для устранения этого недостатка автор разработал конструкции механизмов свободного хода [7], работающих по релейному принципу, а именно: через заклинивающие элементы свободного хода передается только часть нагрузки. Основная часть крутящего момента (нагрузки) передается, минуя заклинивающие элементы. Такое конструктивное решение позволяет разгрузить механизмы свободного хода в десятки и сотни раз. Принцип действия

разработанного механизма свободного хода аналогичен работе электрического реле, когда через слабую электрическую схему передается лишь ток малой мощности, но это приводит к срабатыванию основной электрической цепи, способной надежно передавать главный поток электрической энергии.

На рис. 3 изображена одна из предложенных схем механизмов свободного хода релейного типа.

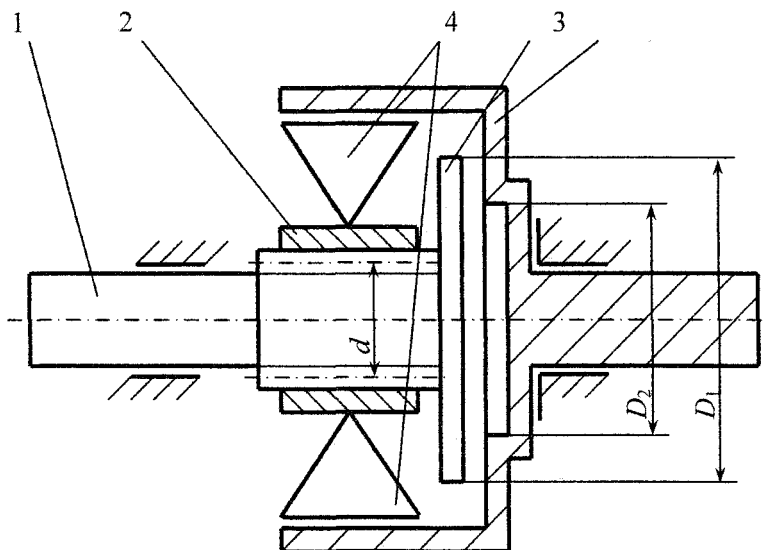


Рис. 3. Схема механизма свободного хода релейного типа

На ведущем валу 1, установленном с помощью передачи «винт - гайка» во внутренней обойме 2 механизма свободного хода, закреплен фрикционный диск 3. Заклинивающие элементы 4 взаимодействуют с наружной обоймой 5 механизма свободного хода, связанной с ведомым валом.

На рис. 3 обозначения  $D_1$ ,  $D_2$  введены для наружного и внутреннего диаметров фрикционной поверхности контакта звеньев 3 и 5; через  $d$  обозначен средний диаметр винтовой нарезки.

Передача «винт - гайка» может быть выполнена в виде винтовой передачи любого типа, например, в виде винтовой передачи скольжения, шариковой винтовой передачи, планетарной винтовой передачи. Наиболее эффективным представляется использование шариковой винтовой передачи, которая имеет высокую нагрузочную способность, большую долговечность, высокую осевую жесткость, плавность хода, высокий коэффициент полезного действия (0,85...0,95), надежность при работе на высоких скоростях.

Заклинивающие элементы также могут соответствовать любой известной схеме механизма свободного хода (ролики, храповые собачки, клиновые элементы, пружины и т.д.).

Работает механизм свободного хода релейного типа следующим образом.

В случае вращения ведущего вала 1 с угловой скоростью, меньшей угловой скорости ведомого вала (или в противоположных направлениях), ведущий и ведомый валы вращаются независимо друг от друга. При этом крутящий момент с ведущего вала на ведомый не передается. При достижении ведущим валом угловой скорости ведомого вала происходит заклинивание элементов 4. При этом крутящий момент начинает передаваться с ведущего вала 1 через внутреннюю обойму 2, заклинивающие элементы 4, наружную обойму 5 на выходной вал. Момент сопротивления на внутренней обойме 2 вызовет вращение ведущего вала относительно внутренней обоймы. Так как ведущий вал и внутренняя обойма взаимодействуют друг с другом через передачу «винт - гайка», то относительное вращение ведущего вала вызовет осевое перемещение ведущего вала в сторону внутренней торцевой поверхности наружной обоймы 5. Осевое перемещение ведущего вала будет происходить до тех пор, пока фрикционный диск 3 не упрется во фрикционную торцевую внутреннюю поверхность наружной обоймы. При этом крутящий момент от ведущего вала на ведомый будет передаваться не только через заклинивающие элементы 4, но и через фрикционные поверхности диска 3 и наружной обоймы 5. Произойдет перераспределение

крутящего момента. За счет соответствующего выбора параметров винтовой передачи можно обеспечить передачу основной величины крутящего момента через фрикционные поверхности, значительно разгрузив при этом заклинивающие элементы 4.

Если угловая скорость ведущего вала станет меньше угловой скорости наружной обоймы, то элементы 4 расклинятся и крутящий момент через эти элементы передаваться не будет. При этом прекратится действие осевой силы на ведущий вал со стороны внутренней обоймы 2. Фрикционный диск 3 отойдет от внутренней торцевой поверхности наружной обоймы 5. Крутящий момент через фрикционные поверхности передаваться не будет. Механизм свободного хода полностью разомкнется. Ведущий и ведомый валы в этом случае будут вращаться независимо друг от друга.

Следует заметить, что, несмотря на наличие фрикционного контакта поверхностей диска 3 и наружной обоймы 5, рассмотренный механизм свободного хода релейного типа лишен главного недостатка фрикционной сцепной муфты - больших потерь мощности при пробуксовке фрикционных дисков и связанных с этим нагревом и короблением дисков. Действительно, контакт фрикционной поверхности диска 3 и внутренней торцевой поверхности наружной обоймы 5 может происходить лишь при выровненных угловых скоростях внутренней и наружной обойм механизма свободного хода релейного типа. Лишь при заклинивании механизма свободного хода появляется осевая сила, действующая на ведущий вал. При этом разница в угловых скоростях фрикционного диска 3 и наружной обоймы 5 определится лишь величиной зазора между торцевыми фрикционными поверхностями диска 3 и наружной обоймы 5 в начальный момент осевого перемещения ведущего вала по направлению к ведомому валу. Величину же этого зазора можно конструктивно свести к минимуму. Поэтому разницу в угловых скоростях фрикционного диска 3 и наружной обоймы 5 можно привести практически к нулевому уровню. Конечно, при этом мы пренебрегаем податливостью звеньев, упругостью заклинивающих элементов, наличием зазоров в других соединениях конструкции. Впрочем, все эти допущения широко применяются при исследовании статики и динамики механических систем.

Достоинства фрикционной дисковой муфты, например, способность передавать большие величины крутящего момента за счет поверхностного контакта, а, значит, при низких удельных давлениях, проявляются в механизмах свободного хода релейного типа в полной мере. В полной мере проявляются также достоинства винтовой передачи, например, ее способность создавать значительную осевую силу при небольшой величине окружного усилия (эффект домкрата). Это позволяет разгрузить заклинивающие элементы механизма свободного хода, а основную величину потока мощности передавать через фрикционные дисковые поверхности.

Разработанные конструктивные решения, при которых основная величина крутящего момента передается вне заклинивающих элементов, а момент, передаваемый через эти элементы, имеет небольшую величину и служит лишь для срабатывания основной силовой цепи, позволяют резко разгрузить заклинивающие элементы свободного хода и в конечном итоге создать конструкции надежных и долговечных механизмов свободного хода, отличающихся простотой и технологичностью конструкции, высоким КПД и имеющих ряд других достоинств.

Проведем более подробное исследование перераспределения величины крутящего момента, передаваемого через заклинивающие элементы и фрикционную дисковую поверхность.

На рис. 4 изображена схема действия сил в винтовой паре.

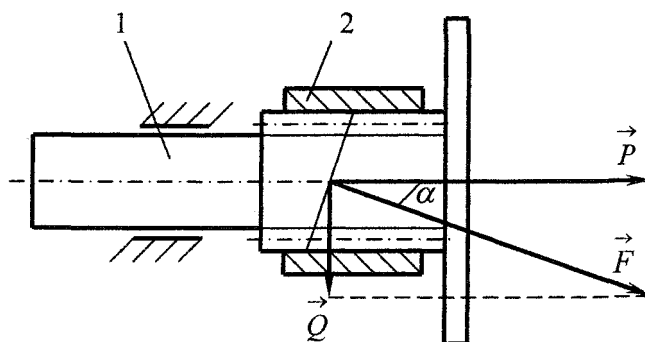


Рис. 4. Схема действия сил в винтовой паре

## Расчет и конструирование

На рис. 4 обозначено: 1 - ведущий вал, 2 - внутренняя обойма механизма свободного хода;  $\vec{F}, \vec{P}, \vec{Q}$  - соответственно результирующая, осевая и окружная силы, действующие на ведущий вал со стороны винтовой пары,  $\alpha$  - угол подъема винтовой линии. Крутящий момент  $M_1$ , передаваемый через заклинивающие элементы механизма свободного хода, определяется соотношением

$$M_1 = Q \cdot r, \quad (1)$$

где  $r = \frac{d}{2}$ . Момент  $M_2$ , передаваемый через фрикционные поверхности звеньев 3 и 5, равен

$$M_2 = \frac{2f \cdot P \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2)}{3 \cdot (R_1 + R_2)}, \quad (2)$$

где  $f$  - коэффициент трения во фрикционном контакте;  $R_1 = \frac{D_1}{2}$ ;  $R_2 = \frac{D_2}{2}$ .

Полный крутящий момент  $M$ , передаваемый с ведущего вала на ведомый, определяется суммой  $M = M_1 + M_2$ .

Нетрудно получить зависимость между модулями сил  $P$  и  $Q$  (рис. 4):

$$P = Q \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (3)$$

Нас интересует соотношение между составляющими  $M_1$  и  $M_2$  полного момента  $M$ , поэтому, учитывая соотношения (1), (2), (3), запишем отношение

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{2f \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2) \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{3r \cdot (R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

Разделив числитель и знаменатель правой части выражения (4) на  $R_1 R_2 \neq 0$  и обозначив  $k = \frac{R_1}{R_2}$ , после преобразований получим:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{2f \cdot R_1 \cdot (k^2 + k + 1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{3r \cdot (k^2 + k)}. \quad (5)$$

Пусть  $k^2 + k = p$ . Тогда выражение (5) можно привести к виду

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{2f \cdot R_1 \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{3r} \cdot \left(1 + \frac{1}{p}\right). \quad (6)$$

Очевидно, что  $R_1 > R_2$ , поэтому  $k > 1$ , а  $p > 2$ . С учетом этих соотношений сделаем записать, что  $1 < 1 + \frac{1}{p} < \frac{3}{2}$ . Тогда, используя выражение (6), можно оценить отношение  $\frac{M_2}{M_1}$ :

$$\frac{2}{3} A < \frac{M_2}{M_1} < A, \quad (7)$$

где  $A = \frac{f \cdot R_1 \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{r}$ .

Как следует из оценки (7), распределение крутящего момента на составляющие, передаваемые заклинивающими элементами и фрикционной парой, определяется величиной  $A$ . Эта величина линейно зависит от коэффициента трения скольжения  $f$  и радиуса наружной окружности  $R_1$  фрикционного контакта. Зависимость величины  $A$  от угла подъема  $\alpha$  винтовой линии и среднего радиуса  $r$  винтовой нарезки не является линейной (хотя является монотонно убывающей в реальной области изменения аргументов) и представляет большой интерес для дальнейшего исследования.

На рис. 5 представлены зависимости отношения составляющих момента  $\frac{M_2}{M_1}$  от угла подъема винтовой линии. Кривые 1 соответствуют нижней (пунктирная линия) и верхней (сплошная линия) границам оценки (7) при значениях параметров  $f = 0,3$ ,  $R_1 = 0,2$  м,  $r = 0,02$  м. Для кри-

вых 2 радиус  $R_1 = 0,1$  м. Все остальные значения параметров приняты такими же, как и для кривых 1.

Как следует из выражения (6), отношение составляющих крутящего момента неограниченно возрастает при выполнении одного из условий (или совокупности этих условий):  $R_1 \rightarrow \infty, r \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$ . Следовательно, при этих условиях можно разгрузить заклинивающие элементы механизма свободного хода на сколь угодно значительную величину. Случай  $f \rightarrow \infty$  не рассматриваем из-за ограниченности коэффициента трения скольжения (обычно  $f = 0,1 \dots 0,4$ ). Хотя понятно, что при увеличении параметра  $f$  отношение моментов (6) увеличивается, что также приводит к разгрузке заклинивающих элементов.

На рис. 6 изображена графическая зависимость  $A = A(\alpha, r)$ . Значения величин были приняты равными  $R_1 = 0,2$  м,  $f = 0,2$ ,  $\alpha = 0,01 \dots 0,2$ ,  $r = 0,005 \dots 0,03$  м.

Как видно из рис. 6, в выбранной области параметров величина момента, передаваемого через заклинивающие элементы механизма свободного хода, может быть меньше величины момента, передаваемого через фрикционные поверхности, более чем в сотни раз. Естественно, что при этом подавляющая величина крутящего момента передается с ведущего вала на ведомый через фрикционные поверхности. Заклинивающие элементы механизма свободного хода в этом случае разгружены практически полностью, что позволяет резко повысить надежность и долговечность механизма свободного хода в целом. Вместе с тем заметим, что даже если момент, передаваемый через фрикционные поверхности, больше момента, передаваемого через заклинивающие элементы, лишь в несколько раз (а не десятки и сотни раз), тем не менее это может привести к значительному увеличению надежности и долговечности механизма свободного хода по сравнению с обычной роликовой обгонной муфтой.

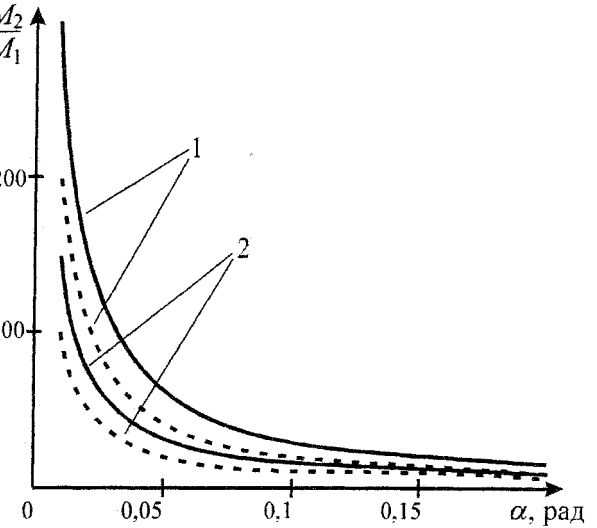


Рис. 5. Зависимости верхней и нижней границ оценки отношения составляющих крутящего момента от угла подъема винтовой линии

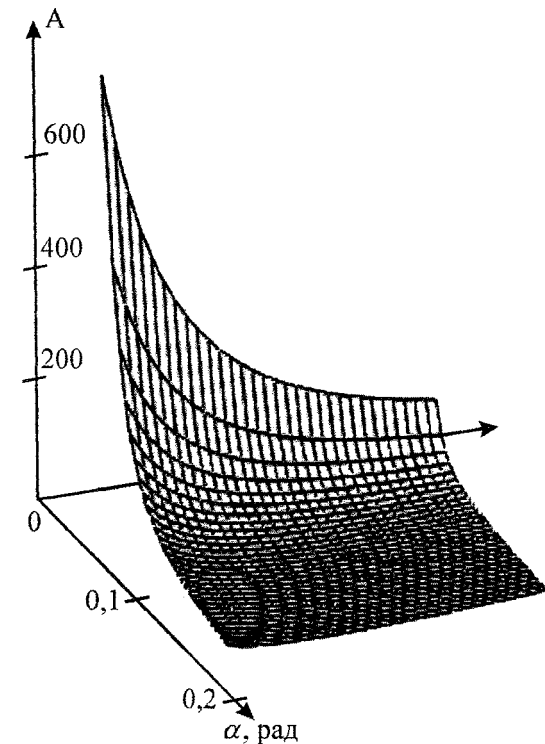


Рис. 6. График зависимости отношения составляющих крутящего момента от угла подъема винтовой линии и среднего радиуса винтовой нарезки

Недостаток конструкции механизма свободного хода, изображенного на рис. 3, заключается в возникновении осевой силы, действующей на ведущий вал 1 и на внутреннюю обойму 2. При этом появляется необходимость в компенсации этой силы, например, с помощью упорных или радиально-упорных подшипников. Для устранения этого недостатка предложена конструкция механизма свободного хода, изображенная на рис. 7.

На ведущем валу 1 имеются две части, на которых выполнены винтовые нарезки с противоположным направлением резьбы. На этих частях установлены фрикционные диски 2 и 3. Внутренняя обойма 4 механизма свободного хода установлена на втулках дисков 2 и 3 с помощью шлицевого соединения с возможностью свободного осевого пе-

рического движения. При этом обеспечивается передача крутящего момента с ведущего вала на ведомый через фрикционные диски 2 и 3, а также возможность свободного осевого перемещения ведомого вала относительно ведущего.

ремещения. Наружная обойма 5 механизма свободного хода установлена также с помощью шлицевого соединения с возможностью осевого перемещения во внутренней части цилиндрической втулки 6, соединенной с ведомым валом.

Принцип действия этого механизма свободного хода подобен работе механических винтовых тисков. Наличие винтовой нарезки с противоположным направлением резьбы позволяет компенсировать осевые силы, действующие на фрикционные диски 2 и 3.

Предложенная схема механизма свободного хода также является конструкцией релейного типа, так как предполагает наличие обычной обгонной муфты с заклинивающими элементами, необходимой для срабатывания фрикционной связи, через которую передается основная часть крутящего момента.

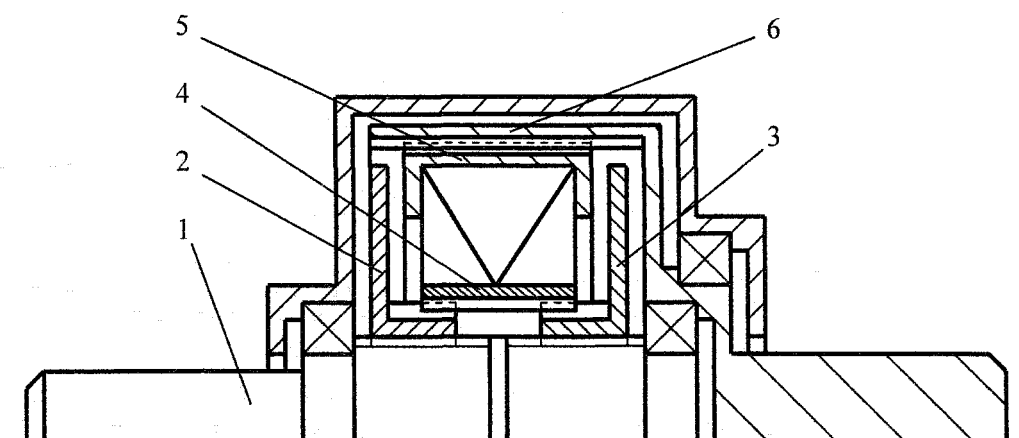


Рис. 7. Схема механизма свободного хода релейного типа с компенсацией действия осевых сил

Возможны и другие конструкции механизмов свободного хода релейного типа. Эти конструкции содержат ведущий и ведомый валы, внутреннюю и наружную обоймы, заклинивающие элементы. Ведущий вал взаимодействует с внутренней обоймой посредством кинематической связи, обеспечивающей создание осевой силы при передаче крутящего момента через заклинивающие элементы, а взаимодействие ведущего вала с наружной обоймой (или ведомым валом) осуществляется не только через заклинивающие элементы, но и посредством фрикционной связи. Кинематическая связь между ведущим валом и внутренней обоймой, обеспечивающая создание осевой силы, может быть выполнена в виде винтовой передачи, в виде шестеренной передачи с косозубым зубчатым зацеплением и другими конструктивными способами. Для увеличения нагрузочной способности фрикционная связь ведущего вала и наружной обоймы (или ведомого вала) может осуществляться посредством пакета фрикционных пластин.

### Литература

1. Леонов А.И. Микрохраповые механизмы свободного хода. — М.: Машиностроение, 1982. — 219 с.
2. Мальцев В.Ф. Роликовые механизмы свободного хода. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1968. — 415 с.
3. Благоврахов А.А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа. — М.: Машиностроение, 1977. — 143 с.
4. Дубровский А. Ф. Динамика упругого микрохрапового механизма свободного хода в инерционном трансформаторе вращающего момента: Дис. ... канд. техн. наук. — Челябинск, 1976. — 234 с.
5. Кропн А.Е. Новые обгонные муфты и области их применения // Вестник машиностроения. — 2005. — №6. — С. 8-12.
6. Ах. 1527423, СССР, МКМФ16Д 13/02, 11/04. Выключаемая муфта /СВ. Ачюков / Опубликовано 07.12.87. Бюл. №45 // Открытия. Изобретения. — 1989.
7. Решение о выдаче патента на полезную модель от 27.06.2006. Заявка №2006111422/22. Механизм свободного хода релейного типа /СВ. Алюков. — 2006.