

ХРАПОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. к.т.н., доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики.

Развитие техники идёт по пути повышения функциональных возможностей и упрощения конструкций механизмов и машин. Это может показаться противоречивым, однако развитие методов проектирования и расчёта самотормозящихся механизмов позволяет упростить механизм, не снижая их функциональные возможности как тормозных устройств.

Как известно, храповые механизмы способны запираются при передаче мощности в одном направлении и иметь холостой ход — в обратном направлении. Данные механизмы относятся к классу самотормозящихся механизмов и их расчёт имеет определённые трудности. Проблему вызывает определение надёжности самоторможения и получение объективной характеристики, отражающей данное свойство механизма. Рассмотрим подробнее.

Объектом исследования выступают *самотормозящиеся клиновые механизмы свободного хода*, — *храповых механизмов*, рассмотренные, например, в монографии А.А. Гончарова, [2].

Предмет изучения — самоторможение храпового механизма. За основу берётся метод проектирование через *простейшие (первичные) механизмы*, — метод Ассур, [1]. В качестве номенклатуры первичных механизмов Ассур рассматривал *ворот и ползун по поверхности*.

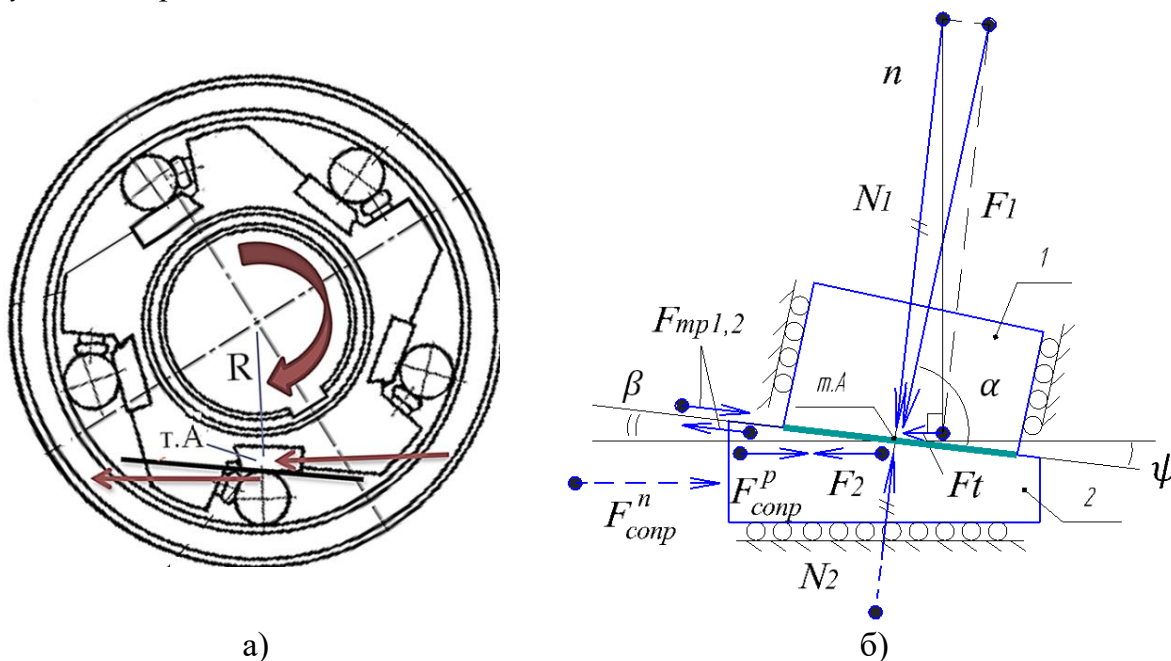


Рисунок 1 – Самотормозящийся клиновой механизм свободного хода:

а) принципиальная схема,

б) баланс сил в клиновой паре в режиме передачи момента

В работах [3, 4] указывается на отличие простейших механизмов *клиновая пара* и *механизм наклонной плоскости*. Соответственно передача храповой механизм может быть представлена как составная, состоящая из *ворота - клиновой пары* -

ворота. Функциональным элементом по запиранию на обратном ходе является *клиновья пара*. Детальный анализ её характеристик выходит за рамки данной статьи.

На рис. 2 представлена схема усилий для данного механизма в режиме передачи крутящего момента. В этом случае шарики заклинены наклонной поверхностью храповика. Имеет место самоторможение на прямом ходе. *Клиновой механизм* рассматривается как взаимодействие двух звеньев: скошенная поверхность храповика 1 и шарика 2. Чтобы свести точечную контактную задачу к линейной и привести её к клиновым механизмам, полагается, что имеется некоторая линия контакта. В качестве исходных данных принимается угол скоса на храповике, коэффициент трения f , радиус точки контакта $t.A - R$, где:

ψ – угол скоса храповика относительно направления тангенциальной силы;

F_t – тангенциальная сила от приводного вала, $-F_t = M \cdot R$;

N_1, N_2 – нормальные усилия в точке контакта;

$N_1 = \frac{F_t}{\sin \psi}$, $|N_2| = |N_1|F_1$ – входное усилие для механизма *клиновья пара*. Есть

векторная сумма сил F_t и N_1 ;

α – угол наклона входного усилия F_1 относительно плоскости контакта;

β – угол наклона выходного усилия F_2 (Рассматривается острый угол). $\beta = \psi$;

F_2 – выходное усилие клиновой пары.

$$F_2 = F_1 \frac{\sin \alpha - f \cos \alpha}{\sin \beta + f \cos \beta}$$

Однако, в данном случае механизм

$F_{тр1,2}$ – силы трения тел 1-ого о 2-ое и 2-ого о 1-ое,

$$F_{тр1} = F_{тр2} = f \cdot N;$$

$F_{сопр}^p$ – реальная сила сопротивления для F_2 . Является следствием действия сил $F_{тр1,2}$.

$F_{сопр}^n$ – потенциально возможная сила сопротивления для данной ситуации. Изображена заведомо больше, чем $F_{сопр}^p$. Изображена пунктиром, так как в действительности этой силы не существует.

По вышеуказанной схеме нужно сделать ряд замечаний. Во-первых, может сложиться впечатление, что степень свободы звена 1 должна быть ортогонально радиусу-вектору храповика R . И тела 1 и 2 должны двигаться параллельно, как это показано на рис. 2. Во-вторых, необходимо рассматривать две контактирующие поверхности: между телами 1-2 и между 2-3.

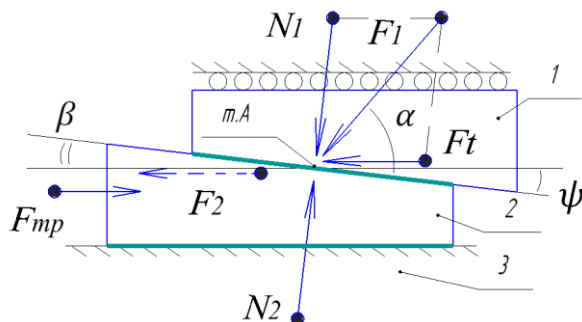


Рисунок 2 – Схема с параллельным движением звеньев

По первому замечанию можно отметить, что для заклиненного состояния промежуточных шариков (рис. 1-а) в соответствии с принципом возможных перемещений степень свободы звена 1 в $t.A$ определяется его деформацией. (Есть

конструкции, где эту функцию выполняют специальные пружины). Это будет направление силы F_1 . Схема рис. 2-б в этом случае верна.

Кроме того, в случае, когда шарики заклинены, а тангенциальная сила F_t отсутствует (такой случай возможен) – очевидно, что степень свободы звена 1 будет по нормали n , рис. 3. **Ошибка! Источник ссылки не найден.-в.** Соответственно рассмотрение подвижности тела 1, как это указано на рис. 2-б является верным.

По второму замечанию, – рассмотрим рис. 3,а, где механизм заведомо не самотормозящийся. Для шарика имеются две точки контакта: $m.A$ и $m.B$. Он будет заклинен тогда, когда в одном из этих сопряжений выполниться условие самоторможения. Определим эти условия.

Очевидно, что шарик будет вращаться относительно т. В., по направлению действия силы F_1 . Тогда имеем:

- в $m.A$ действует механизм клиновья пара с трением скольжения $f_{ск}$ и критерием самоторможения $\beta_{гр} = arctg f_{ск}$;
- в $m.B$ – механизм наклонная плоскость с трением качения(!) $f_{кач}$ и критерием самоторможения $\alpha_{гр} = arctg f_{кач}$;

С учётом того, что $f_{ск}$ существенно больше $f_{кач}$ простейшим механизмом, определяющим самоторможение будет передача в $m.A$ – клиновья пара.

Введение дополнительного поправочного коэффициента для учёта трения в $m.B$ будет относиться к разделу «простейшие механизмы с учётом трения в направляющих». Таким образом, схема рис. 1 отражает истинную картину для МСХ с промежуточными телами качения.

Для храпового механизма, как устройства, существуют два режима движения: передача момента в одном направлении и отсутствие передачи в другом (холостой ход). Для клиновья пары ситуация выглядит иначе. Для его звеньев (храповик и шарик) возможны следующие состояния:

- самоторможение на прямом ходе, когда есть входной соловый момент;
- самоторможение при отсутствии момента (усилия) на входном валу;
- отсутствие самоторможения, – шарик выскользывает;
- оттормаживание (входным валом) из состояния самоторможения.

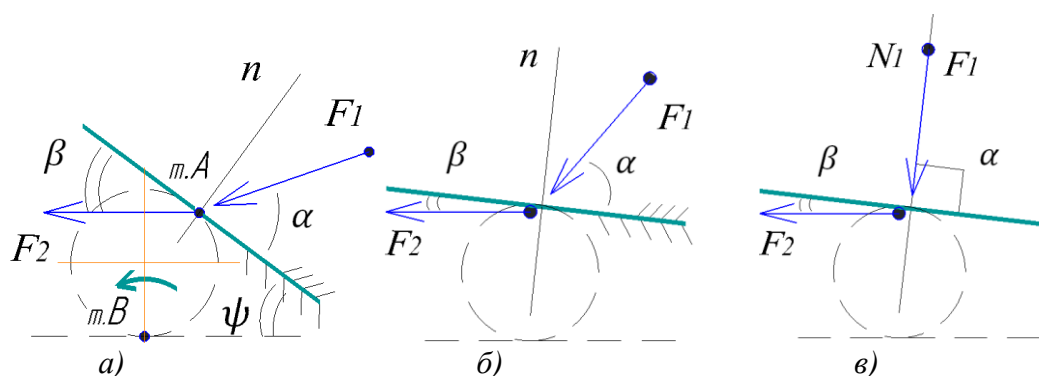


Рисунок 3 – Варианты состояния механизма клиновья пара:

- а) угол скоса больше угла заклинивания, самоторможение невозможно – неработоспособный храповой механизм
- б) основной режим – режим передачи момента;
- в) подводящий момент отсутствует, механизм заклинен силой N_1

Обратный ход здесь отсутствует, так как передача движения от шарика к храповику здесь не применяется. А вопрос оттормаживания возникает всегда, когда есть самоторможение. Очевидно, что задача проектирования будет сводиться к

получению таких профилей (угла ψ), которые обладают достаточным запасом по самоторможению на прямом ходе и минимальным оттормаживающим моментом. Это возможно в случаях, близких к границе самоторможения. На рис. 3 **Ошибка! сточник ссылки не найден.** представлены наиболее характерные возможные состояния клиновой пары храпового механизма с позиций баланса сил и самоторможения.

Таким образом, применение теории *простейших механизмов* для исследования храповых механизмов есть перспективное направление для исследования. Интерес представляют дифференциальные клиновые механизмы, представленные на рис. 4

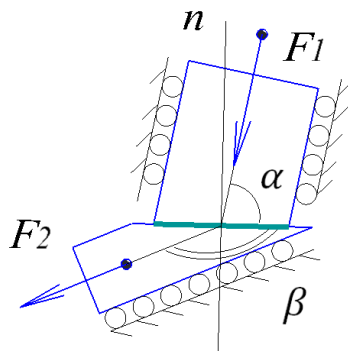


Рисунок 4 – Клиновая пара с $\alpha < 90^\circ$, $\beta > 90^\circ$

В отличие от схем с $\alpha, \beta < 90^\circ$, как, например, в винтовых механизмах (где $\alpha + \beta = 90^\circ$) данный вариант имеет определённые особенности, и в частности, в вопросах самоторможения.

Также интерес представляют устройства храповые механизмы с трением скольжения по обеими контактными поверхностями (не с шариком). Здесь также будут свои особенности. В рамках данного направления исследований получен патент [5]. Необходимы дальнейшие исследования.

Список использованных источников:

1. Ассур, Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. – Известия СПб. политехн. ин-та. т. XX. вып. 1. 1913. с. 329-385; т. XX. вып. 2. 1913. с. 581-635; т. XXI. вып. 1. 1914. с. 187- 283; т. XXI. вып. 2. 1914. с. 475-573.
2. Гончаров, А.А. Самотормозящиеся клиновые механизмы свободного хода: монография / А.А. Гончаров, Волгоград: ВолгГТУ, 2015. – 198 с. ISBN 978-5-9948-1858-9.
3. Стариков, А.Н. Механизмы взаимодействия тел по плоскости // Вестник МГТУ им. Баумана Сер. Машиностроение. 2020. №2(131), с. 128-145, DOI: 10.18698/0236-3941 -2020-2-128-145.
4. Стариков, А.Н. Механизмы, основанные на взаимодействия тел по плоскости // Теория механизмов и машин, СПбПУ Петра Великого, 2019. Т. 1. № 1. С. 27-39. http://tmm.spbstu.ru/01_2019.html.
5. Патент № 2730203 Способ механизма взаимодействия тел по плоскости узла затвора клиновой задвижки, РФ, МПК F16K 3/12 (2006.01) (52) СПК F16K 3/12 (2020.05) / А.Н. Стариков, опубл. 19.08.2020, Бюл. № 23, https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet.