

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ

*Русин А.А., аспирант гр. А2-20,
Нелюбин К.С., студент, гр. 4АМ2К,
Ефременков Е.А., к.т.н., доцент ОмШ
E-mail: aar54@tpu.ru*

В последнее время в России и за рубежом активно исследуются и развиваются механизмы преобразования движения, в которых используется не эвольвентное зацепление, а циклоидальное зацепление, реализуемое с помощью промежуточных тел качения (ПТК): шариков или роликов [1, 2, 3].

Среди достоинств этих передач можно отметить: компактность при высокой перегрузочной способности, высокий КПД, большой диапазон передаточных чисел, высокая жесткость зацепления и т. д. [4]. Наиболее перспективной передачей с ПТК по комплексу технических характеристик является передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО). Определение усилий в зацеплении передач является одной из важнейших задач, решение которой определяет массогабаритные параметры всего механизма.

Обзор и анализ зацепления однополюсной передачи с ПТКСО (рис. 1) был рассмотрен в работах [3, 4, 5]. Здесь отмечалось, что в передаче с ПТКСО с одним полюсом зацепления силы в контакте тела качения с профилями кулачка и венца действуют по одной нормали.

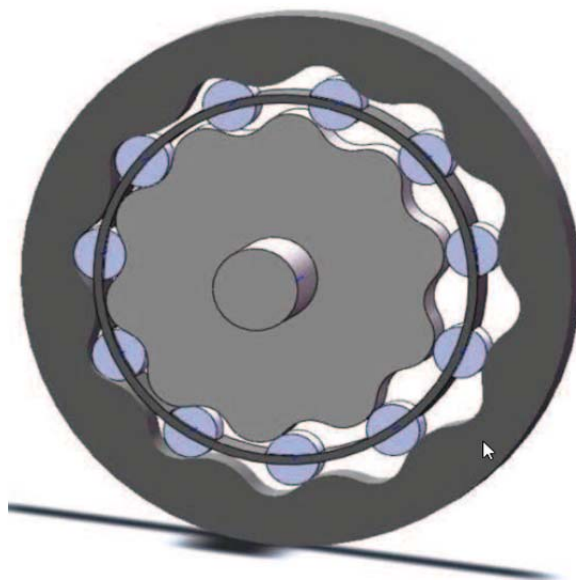


Рис. 1. Передача с промежуточными телами качения и свободной обоймой

Однако, в двухполюсной передаче нормали к профилям кулачка и венца в точках контакта с телом качения проходят под углом друг к другу, а следовательно усилия в этих точках не параллельны. Кроме того, варьируя исходные параметры можно изменить относительное положение полюсов зацепления, что может влиять на нагрузочную способность передачи и всего механизма. Таким образом, анализ особенностей распределения усилий в двухполюсных передачах с ПТКСО является актуальной.

Для того, чтобы определить усилия в зацеплении двухполюсной передачи с ПТКСО, рассмотрим две расчетные схемы с разным расположением полюсов. Расчет усилий в зацеплении передачи с ПТКСО выполним аналогично расчету усилий в цевочном зацеплении [6].

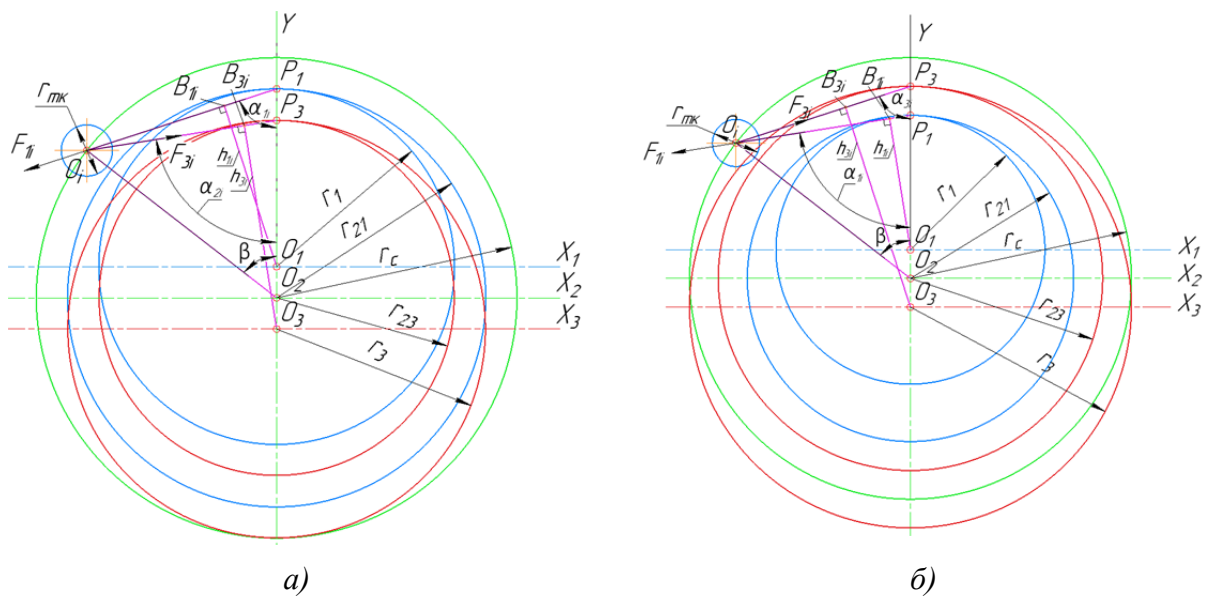


Рис. 2. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении двухполюсной передачи с ПТК и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

На рис. 2 обозначено: P_1, P_3 – полюс зацепления обоймы с кулачком и венцом соответственно; O_1, O_2, O_3 – центры кулачка, обоймы с телами качения и венца соответственно; $r_1, r_3, r_c, r_{тк}$ – радиусы кулачка, венца, обоймы с телами качения соответственно; r_{21}, r_{23} – радиусы производящей окружности обоймы в зацеплении с кулачком и венцом соответственно; β – угол поворота обоймы с телами качения; F_i – усилие в зацеплении i -го тела качения с кулачком и венцом; h – кратчайшее расстояние от центра венца/кулачка до линий действий i -го усилия в зацеплении.

В табл. 1 представлены формулы для определения усилий в зацеплениях тела качения с кулачком и венцом для двухполюсной передачи с ПТКСО. По описанным ниже выражениям определяются усилия в зацеплении тела качения-кулачок и тела качения-венец, разница будет лишь в определении плеча h_i до линии действия соответствующей силы (нормали). Для каждого зацепления h_i берется от центра соответствующего колеса.

Таблица 1

Формулы для определения усилий в зацеплении передачи с ПТКСО

Кулачок	Венец
<i>Момент на кулачке/венце через усилия в зацеплении:</i>	
$T_{кул} = \sum F_{1i} \cdot h_{1i}$ $h_{1i} = r_1 \cdot \sin \alpha_{1i}$	$T_{вен} = \sum F_{3i} \cdot h_{3i}$ $h_{3i} = r_3 \cdot \sin \alpha_{3i}$
<i>Угол α_i поворота профильной нормали относительно вертикальной оси передачи:</i>	
$\sin \alpha_{1i} = \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{1i}}$ $\alpha_{1i} = \arcsin \left(\frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{1i}} \right)$ $P_1 O = L_{1i} = r_{21} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \beta}$	$\sin \alpha_{3i} = \frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{3i}}$ $\alpha_{3i} = \arcsin \left(\frac{\sin \beta \cdot r_c}{L_{3i}} \right)$ $P_3 O = L_{3i} = r_{23} \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \beta}$
<i>Усилие на i-м теле качения и максимальное усилие:</i>	
$F_{1i} = \frac{F_{1max} \cdot h_{1i}}{b_1}$ $F_{1max} = \frac{T_{кул} \cdot b_1}{\sum h_{1i}^2}$	$F_{3i} = \frac{F_{3max} \cdot h_{3i}}{b_3}$ $F_{3max} = \frac{T_{кул} \cdot b_3}{\sum h_{3i}^2}$

Как говорилось ранее в двухполюсной передаче контактные силы направлены под углом друг к другу. Кроме этого, как можно заметить на рисунке 3 в зависимости от положения полюсов меняется направление результирующей силы. В случае, когда полюс зацепления тел качения с кулачком находится выше полюса зацепления тел качения с венцом, результирующая сила зацепления направлена вниз. В ином случае результирующая сила направлена в противоположную сторону. В зависимости от сочетания исходных параметров передачи с ПТКСО результирующая сила может как совпадать с направлением движения тела качения и сепаратора, так и быть направлена в противоположную сторону, что может способствовать торможению тел качения.

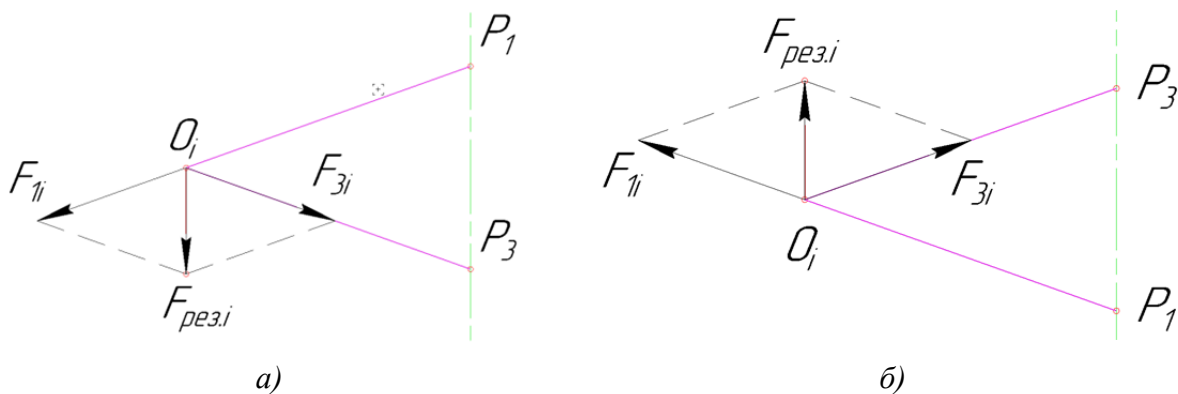


Рис. 3. Результирующая сила в двухполюсной передаче с ПТКСО и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

Таким образом, показано различие распределения усилий в зацеплении однополюсной передачи с ПТКСО и двухполюсной, заключающееся в том, что в двухполюсной передаче силы в контакте тел качения с профилями кулачка и венца направлены под тупым углом друг к другу, в отличие от зацепления однополюсной передачи. Так же показано, что относительное расположение полюсов зацепления тела качения с кулачком и венцом может быть различным, что приводит к разному направлению результирующей силы зацепления, которая действует на сепаратор.

Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. Томск: ТПУ, 1992. – 231 с.
2. Лустенков М.Е. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 274 с.
3. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой: учебной пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 90 с.
4. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
5. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308 – № 1. – С. 131–135.
6. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. М.: М/с, 1966. С. 308