

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЁТА УСИЛИЙ В ДВУХПОЛЮСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Нелюбин К.С., студент гр. 4АМ2К,  
 Русин А.А., аспирант гр. А2-20,  
 Ефременков Е.А., к.т.н., доцент ОмШ  
 НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
 Тел. (3822) 606-392  
 E-mail: ksn6@tpu.ru

Развитие современных механических передач вообще и передач с промежуточными телами качения (ПТК) в частности [1, 2], в современном мире невозможны без приемов автоматизации в проектировании конструкции и проведении проектировочных расчетов. Наиболее перспективной передачей с ПТК является передача с ПТКСО [3]. Двухполосная компоновка этой передачи позволяет расширить технические возможности и использование передачи с ПТКСО в современных механизмах.

В настоящее время расчет передачи с ПТКСО занимает много времени, т. к. он включает подбор исходных параметров для оптимального соотношения геометрии циклоидальных профилей, в том числе и с распределением сил в зацеплении. Исследование усилий в зацеплении передач с ПТК и передачи с ПТКСО, в частности, проводилось [3–5], но двухполосной компоновки передачи с ПТКСО не было уделено достаточного внимания. Поэтому создание алгоритма автоматизированного определения усилий циклоидального зацепления двухполосной передачи с ПТКСО является актуальным.

Рассмотрим двухполосную передачу с ПТКСО (рис. 1). На рис. 1 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;  $r_1, r_3, r_c$  – радиусы кулачка, венца, обоймы с телами качения соответственно;  $r_{21}, r_{23}$  – радиусы производящей окружности обоймы в зацеплении с кулачком и венцом соответственно;  $\beta$  – 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.

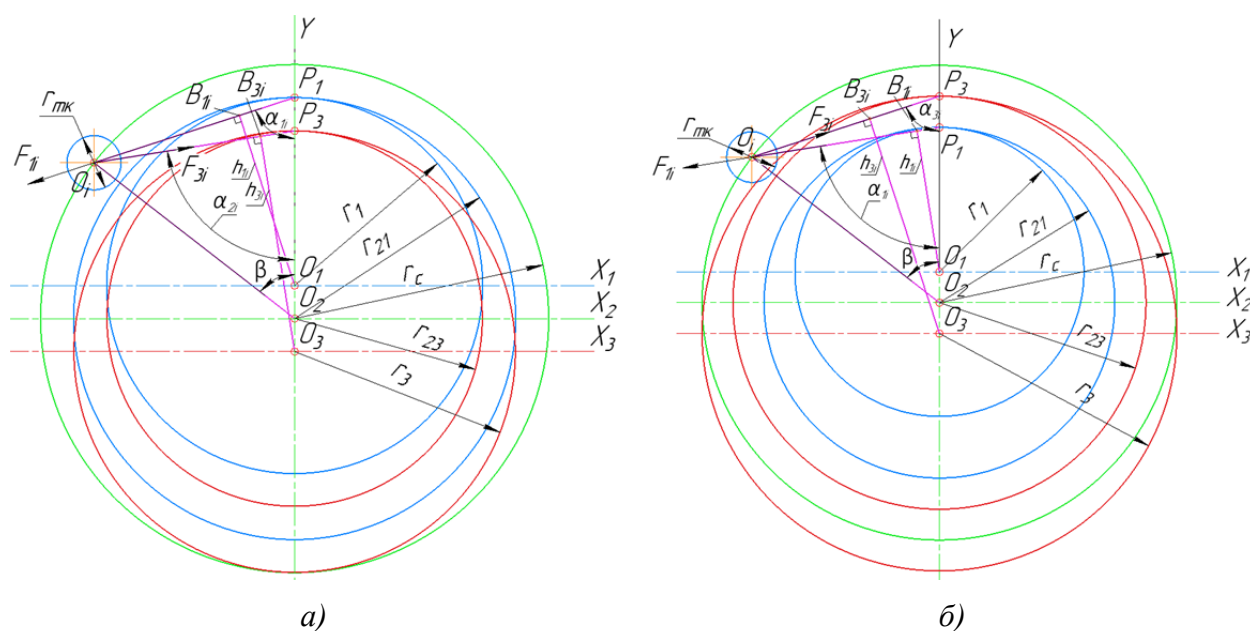


Рис. 1. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении двухполосной передачи с ПТК и свободной обоймой с учетом разных положений полюсов

В литературе [3] предложены выражения для определения усилий в зацеплении однополюсной передачи с ПТКСО через крутящий момент на кулачке:

$$F_{max} = \frac{T_{cam} \cdot r_1}{\sum h_i^2};$$

$$F_i = \frac{F_{max1} \cdot h_i}{r_1}.$$

Здесь  $r_1$  и  $h_i$  геометрические параметры кулачка. Эти параметры вычисляются через исходные параметры передачи [3]:

$$h_i = r_1 \cdot \sin \alpha_i;$$

$$\sin \alpha_i = \frac{\sin \varphi_{2i} \cdot r_c}{L_i};$$

$$L_i = r_2 \sqrt{1 + \chi^2 - 2\chi \cos \varphi_{2i}}.$$

Используя указанные выше выражения и учитывая, что радиус центров расположения тел качения  $r_c$  и число тел качения  $Z_2$  в двухполюсной передаче с ПТКСО должны оставаться постоянными [6], разработаем выражения для определения усилий в циклоидальном зацеплении двухполюсной передачи с ПТКСО. Для удобства полученные выражения сведем в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

*Формулы для определения усилий в зацеплении передачи с ПТКСО*

Расчет усилий в зацеплении тела качения с профилем кулачка	
Максимальное усилие в зацеплении	$F_{max1} = \frac{T_{cam} \cdot r_1}{\sum h_{i1}^2}$
Геометрические параметры контакта	$h_{i1} = r_1 \cdot \sin \alpha_{i1}$ $\sin \alpha_{i1} = \frac{\sin \beta_i \cdot r_c}{L_{i1}}$ $L_{i1} = r_{21} \sqrt{1 + \chi_1^2 - 2\chi_1 \cos \beta_i}$
Усилие на i-м теле качения в зацеплении	$F_{i1} = \frac{F_{max1} \cdot h_{i1}}{r_1}$
Расчет усилий в зацеплении тела качения с профилем венца	
Максимальное усилие в зацеплении	$F_{max3} = \frac{T_{cr} \cdot r_3}{\sum h_{i3}^2}$
Геометрические параметры контакта	$h_{i3} = r_3 \cdot \sin \alpha_{i3}$ $\sin \alpha_{i3} = \frac{\sin \beta_i \cdot r_c}{L_{i3}}$ $L_{i3} = r_{23} \sqrt{1 + \chi_3^2 - 2\chi_3 \cos \beta_i}$
Усилие на i-м теле качения в зацеплении	$F_{i3} = \frac{F_{max3} \cdot h_{i3}}{r_3}$

Таким образом, используя представленные выражения (табл. 1) можно разработать алгоритм (рис. 2) для расчета усилий в двухполюсной передаче с циклоидальным зацеплением передачи с ПТКСО.

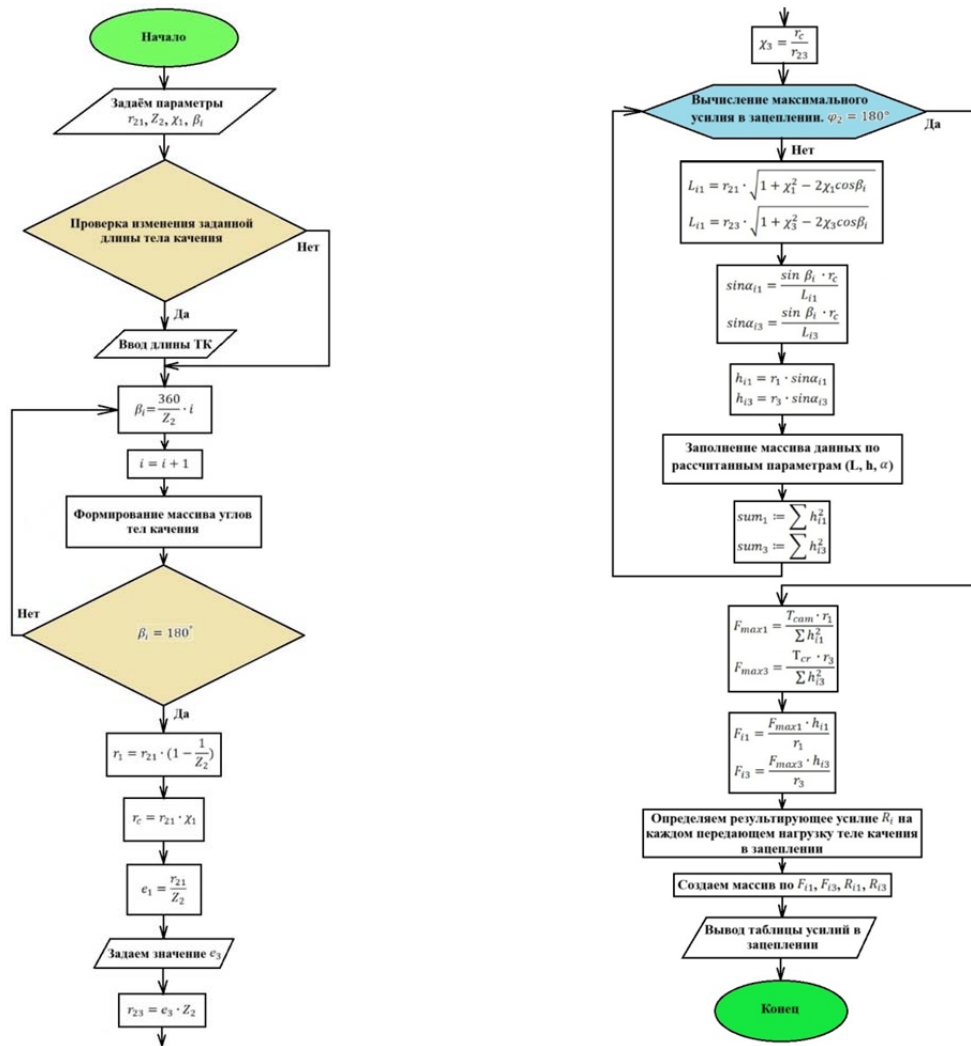


Рис. 2. Алгоритм расчета усилий в двухполюсной передаче с циклоидальным зацеплением

Согласно данному алгоритму, формируются массивы углов расположения тел качения и усилий в зацеплении передачи с ПТКСО.

Таким образом, разработан алгоритм автоматизированного определения усилий в зацеплении в зависимости от исходных и геометрических параметров циклоидальной двухполюсной передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой.

### Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. Томск: ТПУ, 1992. -231с.
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. An I-Kan, Il'in A.S., Lazurkevich A.V. Load analysis of the planetary gear train with intermediate rollers. Part 2 // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2016, № 124. – 6 p.
5. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
6. Ефременков Е.А., Кобза Е.Е., Сорокова С.Н. Особенности проектирования двухполюсной передачи с промежуточными телами качения // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 2. – С. 59–62.