

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ НА ОПОРУ КАЧЕНИЯ ЦИКЛОИДАЛЬНОГО САТЕЛЛИТА ПО МЕТОДУ ПРИВЕДЕННОГО УСИЛИЯ

Чаэров Е.С.  
НИ ТПУ, ИШНПТ, АЗ-20,  
E-mail: esc12@tpu.ru

В последнее время во всем мире наблюдается тенденция проектирования механических передач с максимальной надежностью, позволяющих передавать высокие крутящие моменты, но при этом являющихся компактными и эффективными. В настоящий момент существует множество различных передач, такие как: передачи зацеплением; передачи трением; цепные передачи и т. д. [1]. Наиболее интересными являются передачи зацеплением, которые в свою очередь подразделяются по типам зацепления на эвольвентные и циклоидальные. Эти виды зацепления существуют уже более 100 лет (а эвольвентное более 200), но в прошедшее столетие больше внимания стало уделяться механическим передачам с циклоидальным зацеплением [2, 3]. На основе циклоидального зацепления разработаны передачи с промежуточными телами качения (ПТК) и, в частности, передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой (ПТКСО).

Передача с ПТКСО является наиболее перспективной среди передач с ПТК для применения в современных механизмах [2-6]. Наиболее нагруженной частью этой передачи, да и всех планетарных передач с ПТК является подшипник, расположенный на генераторе, под сателлитом.

Рассмотрим конструкцию передачи с ПТКСО [6]. Она состоит из (рис. 1): генератора (1), кулачка (2), тел качения (3), венца (4), сепаратора (5) и подшипника (6). Передача работает следующим образом: от эксцентрикового генератора (1) через подшипник (6) вращение передается на кулачок (2), который в свою очередь вовлекает во вращение тела качения (3) вместе с сепаратором (5), в пазах которого они находятся, при этом тела качения обкатываются по циклоидальным профилям венца и кулачка (6). Выходным звеном может быть, как кулачок, так и венец.

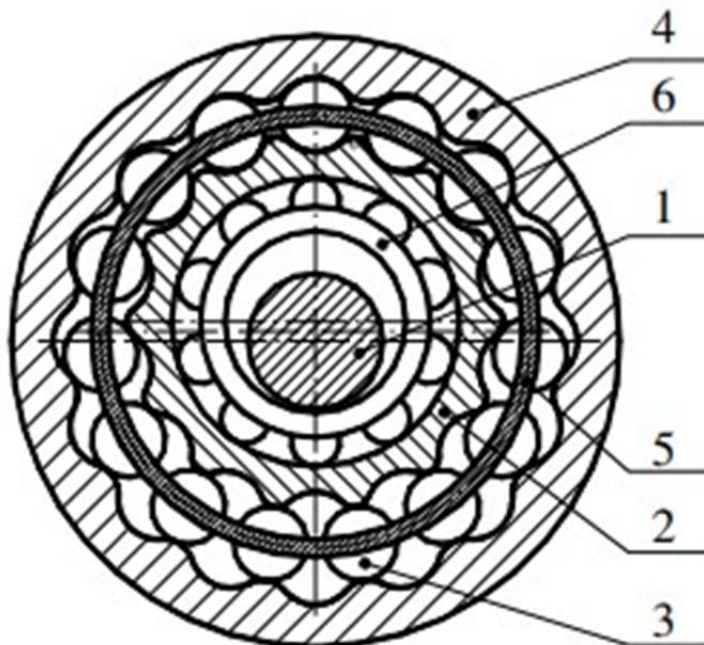


Рис. 1. Схема передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

В зацеплении передачи с ПТКСО на тело качения, усилия действуют с двух сторон (рис. 2): в точках контакта профиля кулачка с телом качения и профиля венца с телом качения. Более важным для грузоподъемности передачи является усилие, действующее в точке контакта профиля кулачка с телом качения, так как именно это усилие оказывает воз-

действие на опору качения, расположенную на генераторе. Распишем метод определения приведенного усилия на опору качения циклоидального сателлита.

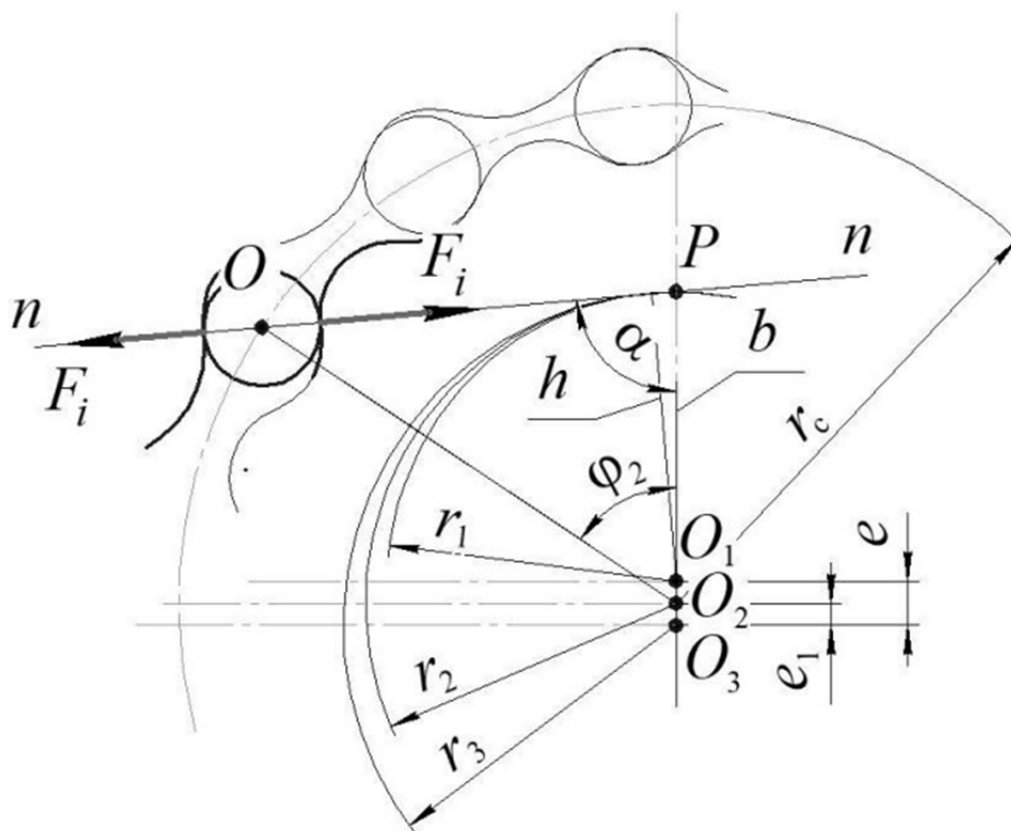


Рис. 2. Расчетная схема к определению усилий в зацеплении передач с ПТКСО

Расчет усилий в зацеплении начнем с определения максимального усилия в зацеплении передачи с ПТКСО [6]:

$$F_{\max} = \frac{T_k \cdot b}{\sum h_i^2}, \quad (1)$$

где  $T_k$  – крутящий момент на кулачке;  $b$  – расстояние от центра кулачка до полюса зацепления;  $h_i$  – плечо, расстояние от линии действия  $i$ -го усилия до центра кулачка.

Расстояния  $h_i$  рассчитываются для каждого тела качения по следующей формуле:

$$h_i = b \cdot \sin \alpha_i. \quad (2)$$

Значения  $\sin \alpha_i$  для каждого тела качения, участвующего в зацеплении найдем по формуле:

$$\sin \alpha_i = \frac{\sin \varphi_{2i} \cdot r_c}{L_i}, \quad (3)$$

здесь  $L$  – расстояние от полюса  $P$  до центра тела качения  $O$ . В зависимости от исходных параметров определяется как:

$$L_i = \sqrt{r_2^2 + r_c^2 - 2r_2 r_c \cos \varphi_2}. \quad (4)$$

Зная значение максимального усилия в зацеплении, определим усилие на каждом теле качения, передающем крутящий момент, согласно уравнению:

$$F_i = \frac{F_{\max} \cdot h_i}{b}. \quad (5)$$

После определения усилий  $F_i$  на каждом теле качения в зацеплении, приложим их параллельным переносом к точке  $O_1$  (рис. 3). В точке  $O_1$  проведем произвольную прямую  $p - p$ , на которую спроецируем усилия  $F_i$  и получим проекции этих усилий  $F_{Hi}$  (рис. 3).

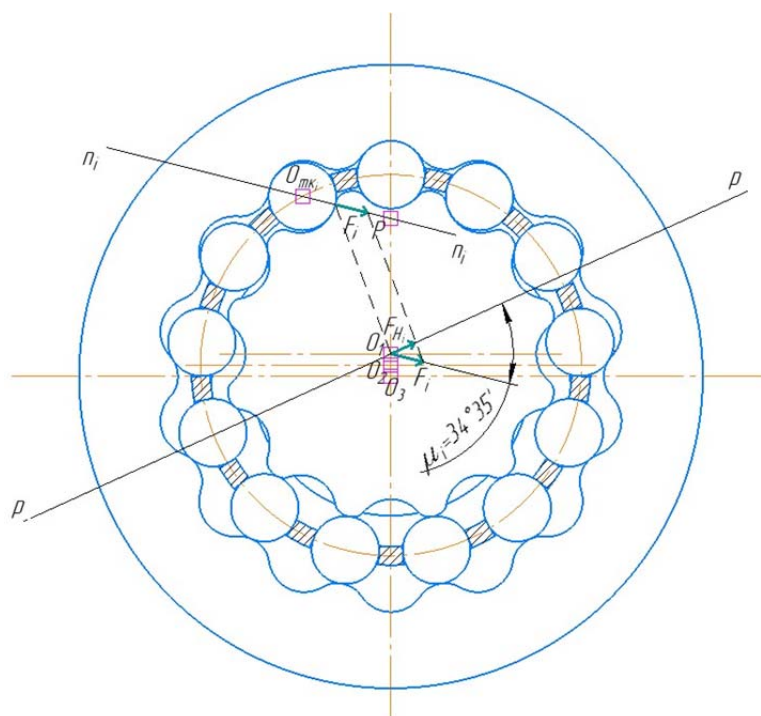


Рис. 3. К определению проекции усилия на произвольную прямую

Проекции усилий  $F_{Hi}$  определяются из следующего выражения:

$$F_{Hi} = F_i \cdot \cos\psi_i. \quad (6)$$

После того как все усилия, спроецированные на произвольную прямую  $p-p$ , определены, можно определить приведенное усилие  $R_H$ , действующее на опоре кулачка, через сложение проекций  $F_{Hi}$ :

$$R_H = \sum F_{Hi}. \quad (7)$$

Полученную приведенную силу можно использовать для определения долговечности подшипника под сателлитом.

Таким образом, представлен метод приведенного усилия, который предназначен для определения усилия, действующего на опору качения циклоидального сателлита, и долговечности этой опоры, что влияет на несущую способность передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой и всего механизма в целом.

### Список литературы

1. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 12-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 408 с.
2. Ефременков Е.А. Разработка и проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида / Е.А. Ефременков // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308, № 1. – С. 131–135.
3. Lustenkov M.E. Planetary ball transmissions: strength calculations // Russian Engineering Research. – 2010. – V. 30. – № 9. – P. 862–866.
4. Hsieh C.F. Dynamics analysis of cycloidal speed reducers with pinwheel and nonpinwheel designs // Journal of Mechanical Design. – 2014. – V. 136. – № 9. – 11 p.
5. Ефременков Е.А. Проектирование тяжело нагруженной циклоидальной передачи со свободной обоймой из условия контактной прочности / Е.А. Ефременков, С.К. Ефременкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 11. – С. 182–188.
6. Ефременков Е.А., Ефременкова С.К., Пашков Е.Н. Проектирование циклоидальных механических передач с промежуточными телами качения и свободной обоймой. – Томск: ТПУ, 2022. – 90 с.