

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОГО МЕХАНИЗМА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

**Уринов Н.Ф.**

Бухарский инженерно-технологический институт

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены передачи с промежуточными телами качения. Приведена методика раскрытия силовой статической неопределимости механизма не только используя уравнения статики, но и дополнительно уравнение, учитывающих поведения деформаций тел.

**Ключевые слова:** зацепление механизм, крутящий момент, тело качения, угол поворота, реакция, передаточное отношение.

## STUDY OF THE WAVE MECHANISM WITH INTERMEDIATE ROLLING BODIES

**Urinov N.F.**

Bukhara Engineering and Technology Institute

### ABSTRACT

The article discusses gears with intermediate rolling bodies. A method for revealing the force static indetermination of a mechanism is presented not only using static equations, but also an additional equation that takes into account the behavior of deformations of bodies.

**Keywords:** engagement mechanism, torque, rolling body, rotation angle, reaction, gear ratio.

### ВВЕДЕНИЕ

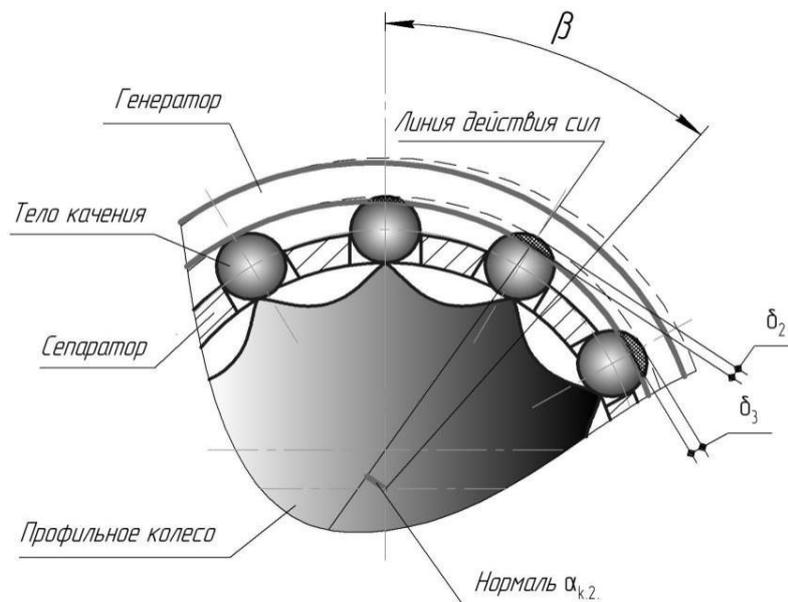
Одним из значимых направлений развития современного машиностроения определяется в модернизации и проектировании современных приводов машин. Применяемость данных приводов объясняется их работой в подавляющем большинстве современных механических электромеханических устройствах. К числу основных технических характеристик можно отнести передаточное отношение, коэффициент полезного действия, передаваемая мощность и габаритные размеры. Особое внимание стоит уделить к передачам с промежуточными телами качения. Данные передачи способны

обеспечить высокую нагрузочную способность за счет многопарности зацепления, повышенное значение крутящего момента, а также высокое передаточное число в совокупности с относительно небольшими габаритами [1].

## МЕТОДОЛОГИЯ

Исследуемый механизм, представляет из себя статически неопределимую систему. Статическая неопределимость системы обуславливается необходимостью применения уравнений не только статики, но и дополнительно уравнений, учитывающих поведения деформаций тел [2,5]. Для раскрытия неопределимости в исследуемом механизме обратимся к подобной методике, представленной в работе [3] проведя аналогию между цевочным и эпициклоидальным механизмами и, основываясь на результаты работы [4] решим вопрос о статической неопределимости.

Предположим, что при зафиксированном сепараторе и профильном колесе, генератор при повороте за счет крутящего момента и деформаций, возникающих в контактах тел качения с элементами передачи, повернется на



определенный угол, обозначенный как  $\beta$  (рис. 1).

Рис 1. Деформации при повороте генератора на угол  $\beta$

На рисунке пунктирной линией показано начальное положение генератора, а сплошной утолщенной конечное, после поворота. Места деформации, возникающие в телах качения, заштрихованы. Согласно методике раскрытия силовой статической неопределимости механизма, указанной в работе [3], делаем предположение о том, что суммарная деформация от смятия тела качения для второго и третьего тел будут определены как

зависимости:

$$\delta_2 = \alpha_{к.2} \cdot \beta \quad (1)$$

$$\delta_3 = \alpha_{к.3} \cdot \beta \quad (2)$$

где:  $\delta_2, \delta_3$  - суммарные деформации тел качения;  $\alpha_{к.2}, \alpha_{к.3}$  - длины нормалей к линии действия сил;  $\beta$  – угол поворота генератора.

Максимальная суммарная деформация смятия будет в том случае, когда нормаль будет максимально возможной. В нашем случае максимально возможным плечом является эксцентриситет передачи.

Сделаем следующее предположение о том, что воспринимаемые телами качения нагрузки связаны соответственно с возникающими деформациями в контакте тел качения и элементов передачи, определенные в зависимостях (1, 2). Запишем данную зависимость ссылаясь на [3] как:

$$\frac{P_i^\tau}{a_i^\tau} = \frac{P_{\max}^\tau}{a_{\max}^\tau} \quad (3)$$

где  $P_i^\tau$  – усилие на  $i$ -том теле качения;  $P_{\max}^\tau$  – максимально возникающее усилие;

$a_i$  – плечо действия силы  $i$ -того тела качения;  $a_{\max}^\Gamma$  – плечо, возникающее при максимальном усилии.

Так как максимально возможным плечом действия сил является эксцентриситет передачи соответственно, что отмечено выше, то преобразуем выражение (3) для нахождения усилия от генератора на любом теле качения как:

$$P_i^\Gamma = \frac{P_{\max}^\Gamma a_i^\Gamma}{e} \quad (4)$$

где  $e$  – эксцентриситет передачи.

В проектируемой передаче генератор является входящим звеном. Крутящий момент генератора можно разложить как сумму единичных моментов на телах качения. Запишем данную зависимость:

$$T_{ВХ} = \sum P_i^\Gamma a_i^\Gamma \quad (5)$$

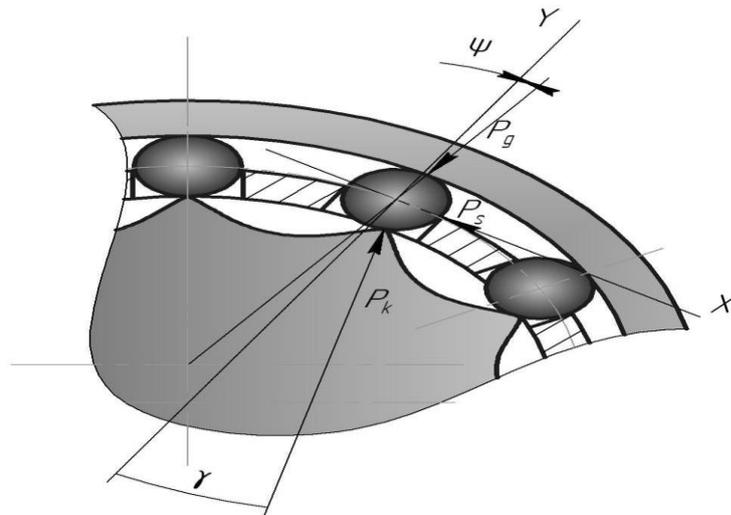
где  $T_{ВХ}$  – величина момента на генераторе.

С учетом (4) и преобразовав, можно записать следующее:

$$T_{ВХ} = \frac{P_{\text{вфч}}^U}{e} \sum (a_i^\Gamma)^2 \quad (6)$$

Таким образом, можно получить уравнение максимального усилия от генератора:

$$P_{\text{вфч}}^U = \frac{T_{ВХ} e}{\sum (a_i^\Gamma)^2} \quad (7)$$



Помимо усилия от генератора, на тело качения в рассматриваемом механизме действуют реакции со стороны сепаратора и профильного колеса. На рисунке 2 отдельно взят участок передачи с телом качения и участками сопряженных элементов для построения расчетной схемы усилий.

Рис.2. Реакции тела качения со стороны генератора, сепаратора, профильного колеса.  $P_g$  - реакция со стороны генератора,  $P_k$  - реакция со стороны профильного колеса,  $P_s$  - реакция со стороны сепаратора,  $\psi$  - угол давления генератора на тело качения,  $\gamma$  - угол давления профильного колеса на тело качения

Определение угла  $\psi$ :

$$\psi = \arcsin\left(\frac{e}{r_2} \sin(\beta)\right) \quad (8)$$

где  $r_2$  - радиус центров тел качения.

Для определения  $\gamma$  вводим величины радиальной и тангенсальной составляющие скорости  $V$  и  $V$ .

$$V_1 = -etg(\psi) \cos(\beta) - e \sin(\beta) \quad (9)$$

$$V_2 = \frac{S}{i_0} \quad (10)$$

где  $i_0$  - передаточное отношение передачи;  $S$  - расстояние от центра генератора до окружности центров тел качения;  $e$  - эксцентриситет передачи;  $\psi$  - угол давления генератора на тело качения;  $\beta$  - угол поворота входного звена.

Соотношение для  $\gamma$  (11):

$$\gamma = \left| \arctg\left(\frac{V_1}{V_2}\right) \right| \quad (11)$$

Обращаясь к (рис. 2) составляем систему уравнений статического равновесия (12,13):

$$P_g \cos(\psi) - P_k \cos(\gamma) = 0 \quad (12)$$

$$-P_s - P_k \sin(\gamma) + P_g \sin(\psi) = 0 \quad (13)$$

По соотношению (12) выразим  $P$  (14):

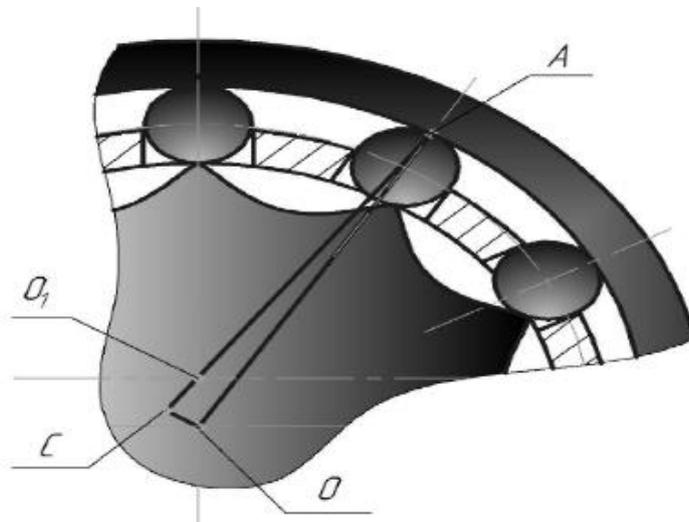
$$P_k = \frac{-Pg \cos(\psi)}{\cos(\gamma)} \quad (14)$$

Подставляя (14) в (13) выразим  $P$  (15):

$$P_s = Pg \frac{-\cos(\psi)\sin(\gamma) + \cos(\gamma)\sin(\psi)}{\cos(\gamma)} \quad (15)$$

Далее для определения плеч  $a_i$  обратимся к 4

Рис.3. Геометрическая схема для определения плеча усилия  $h_g$  от генератора на тело качения



Рассмотрим на рисунке 3 треугольник  $OO_1A$ . Определим высоту данного треугольника  $h_g$ , которая соответствует отрезку  $CO$ . Для определения данной высоты воспользуемся формулой (16):

$$CO = \frac{2}{O_1A} \sqrt{P(P - OO_1)(P - O_1A)(P - OA)} \quad (16)$$

где  $P$  – полупериметр треугольника  $OO_1A$ .

Данная формула получена благодаря определению высоты через величину полупериметра.

$$P = \frac{OO_1 + O_1A + OA}{2} \quad (17)$$

Величину полупериметра определим по формуле (17):

Определим значения отрезков:

$$AO_1 = r + r_k \quad (18)$$

$$OA = S + r_k \quad (19)$$

$$OO_1 = e \quad (20)$$

где  $e$  – эксцентриситет передачи;  $S$  – расстояние от центра генератора до окружности центров тел качения;  $r$  – радиус окружности центров тел качения.

Расстояние  $S$  будет определяться по следующей формуле:

$$S = e \cos(\beta) + \sqrt{r_2^2 + e^2 \sin(\gamma)}$$

Таким образом, формулу (16) с учетом вышеуказанных значений отрезков перепишем как:

$$P = \frac{r_2 + s + 2r_k + e}{2} \quad (22)$$

Подставляя (22) в (16) получим следующую формулу:

$$CO = \frac{2}{r_2 + r_k} \sqrt{P(P - e)(P - r_2 - r_k)(P - s - r_k)} \quad (23)$$

Длина  $CO$  соответствует искомой величине  $hg$  соответственно.

### **Вывод**

С использованием программного обеспечения Microsoft Excel можно определить каждое значение плеча  $hg$  и подставив в формулу 4 определить значения усилий генератора от величины плеча на искомых телах качения.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)**

1. Ершов Ю. В. Анализ и синтез планетарных передач К–Н–V с промежуточными телами качения: дис. – ЮВ Ершов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 242 с. ил.
2. Статически неопределимая система // Википедия. [2014—2014]. Дата обновления: 08.05.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=62951254> (дата обращения: 08.05.2014).
3. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н. (ред.). Планетарные передачи: справочник. – 1977.
4. В.Н. Кудрявцев. Планетарные передачи/ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1966.
5. Fayzilloevich, Urinov Nasillo, and Dubrovets Lyudmila Vladimirovna. "Control of force parameters during processing diamond grinding." *Academicia Globe: Inderscience Research* 3.02 (2022): 73-77.