

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН СТАТИЧЕСКИХ СИЛ ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ С
ЗСТК С ДИАМЕТРАМИ РАЗНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕЙ
РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ НА ВНУТРЕННЕЕ КОЛЬЦО**

Сапожников А. С., Коленчуков О. А.

научные руководители канд. техн. наук, доцент Мерко М. А.,

старший преподаватель Меснянкин М. В.

Сибирский федеральный университет

Силловые параметры механизмов любого вида, оказывают непосредственное влияние на работоспособность приводов технологического оборудования. Внешние силы и моменты пар внешних сил, приложенные к звеньям механизма должны обеспечивать передачу движения между ними с требуемыми кинематическими параметрами согласно заданным законам движения. Величины силовых факторов в зонах контакта зависят от особенностей структуры и условий эксплуатации механизма. Результатом силового взаимодействия звеньев механизмов являются силовые факторы, которые подразделяются на статические и динамические силы. При этом статические силовые факторы условно считаются постоянными величинами, а динамические силовые факторы изменяют свои значения пропорционально скорости движения звеньев механизма. Процесс модернизации и развития промышленного потенциала России показывает актуальность поиска новых структурных схем механизмов, позволяющих реализовывать сложные движения звеньев при минимально возможном числе подвижных соединений. Это дает возможность формировать привода технологического оборудования с требуемыми свойствами и показателями качества, как в обычных условиях эксплуатации, так и в экстремальных условиях, что возможно только при правильном определении силовых параметров механизмов используемого вида. Перечисленным свойствам соответствуют механизмы с замкнутой системой тел качения (ЗСТК). Механизмы данного вида обладают структурой образованной совокупностью двух колец с дорожками качения, замкнутой системой тел качения с диаметрами равной или разной величины и сепаратором (води́ло). Наличие сепаратора в структуре механизмов с ЗСТК позволяет исключить контакт тел качения друг с другом, обеспечив между ними наличие зазора. Передача движения между звеньями в этом случае осуществляется посредством непосредственного контакта тел качения с дорожками качения обоих колец. Механизмы данного вида относятся к фрикционным эпициклическим механизмам. В этом случае для обеспечения работоспособности механизмов с ЗСТК необходимо сформировать достаточное по величине прижатие контактирующих поверхностей звеньев. Это возможно только при правильном определении статических и динамических силовых параметров механизмов используемого вида.

Рассмотрим решение поставленной задачи на примере определения величин статических сил механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины. Для этого составим расчетную модель (рис. 1) и примем следующие исходные условия и обозначения: $ДК_В$, $ДК_Н$ – дорожки качения внутреннего и наружного колец; $R_В$, $R_Н$, $O_В$ и $O_Н$ – радиусы и геометрические центры дорожек качения внутреннего и наружного колец; e – эксцентриситет; S – сепаратор (води́ло); c – зазор между телами качения; r_0 , r_1 , r_i , O , 1 , i , $O_В$, $1_В$, $i_В$ и $O_Н$, $1_Н$, $i_Н$ – радиусы, геометрические центра и точки контакта максимального, первого и i -ого тел качения с дорожками качения внутреннего и наружного колец; β_i и α_i – углы положения i -ого тела качения; γ_i – угла клина,

образованный дорожками качения колец; $X_B O_B Y_B$ – неподвижная система координат с центром в точке O_B ; Q – внешняя радиальная сила, действующая на внутреннее кольцо.

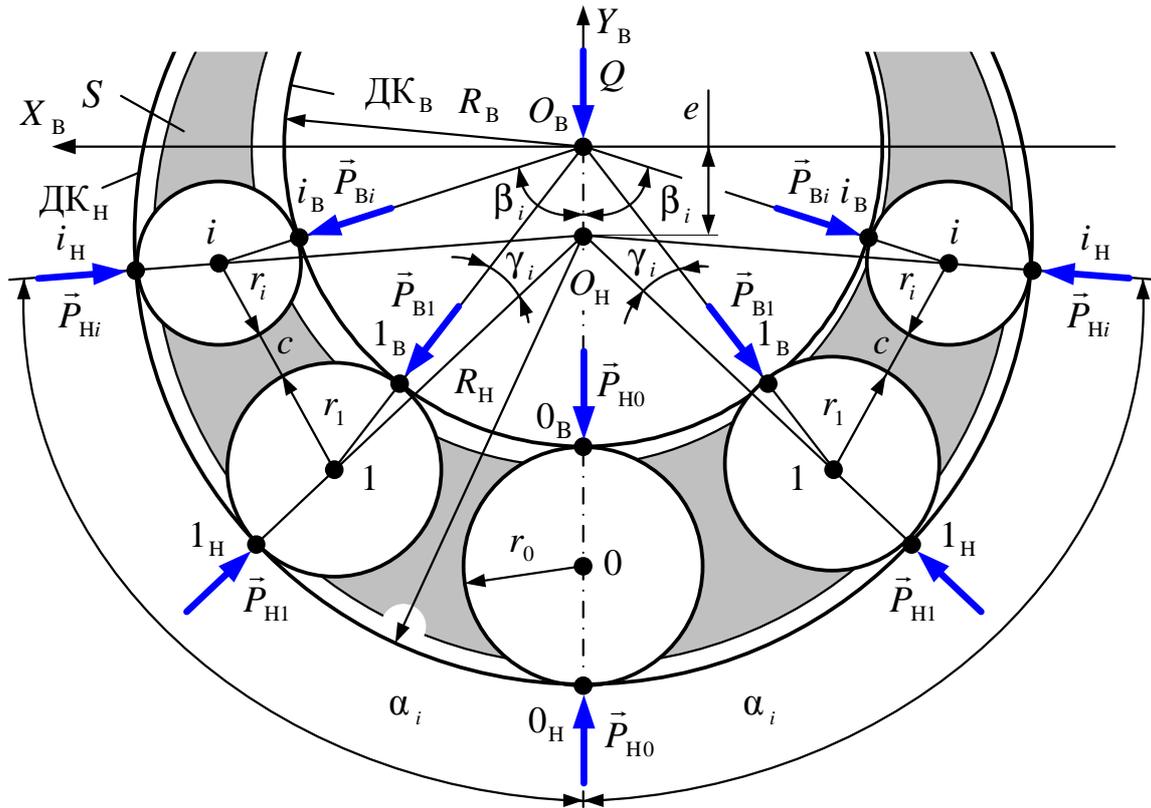


Рисунок 1 – Расчетная модель механизма с замкнутой системой тел качения с диаметрами разной величины и сепаратором

Анализ расчетной модели (рис. 1) при рассматриваемых условиях показывает, что в результате действия на внутреннее кольцо механизма с ЗСТК внешней радиальной силы Q максимальное тело качения находится под действием двух статических сил \vec{P}_{B0} и \vec{P}_{H0} , приложенных в точки O_B и O_H соответствующие точкам контакта этого ролика с дорожками качения внутреннего и наружного колец. При этом полученные силовые факторы будут равны по величине, т. е. $P_{H0} = P_{B0}$. В тоже время i -ое тело качения находится под действием двух статических сил \vec{P}_{Bi} и \vec{P}_{Hi} , приложенных в точки i_B и i_H соответствующие точкам контакта этого ролика с дорожками качения внутреннего и наружного колец. Так как точки i_B и i_H не лежат на одной прямой, то силовые факторы не будут равны по величине, т. е. $P_{Hi} \neq P_{Bi}$.

С целью определения величин этих силовых факторов, представим уравнение силового равновесия всех сил, действующих в точках контакта дорожки качения внутреннего кольца с телами качения, в виде суммы проекций всех сил на ось Y в неподвижной системе координат $X_B O_B Y_B$. После преобразования получим

$$Q = P_{B0} + 2 \sum_{i=1}^n [P_{Bi} \cos(\beta_i)], \quad (1)$$

где n – число тел качения механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины в пределах половины зоны силового нагружения, соответствующей углу положения тел качения (β_i) в пределах от 0^0 до 90^0 .

В соответствие с работами научных руководителей статические силы, приложенные в точки i_B и i_H , в пределах зоны силового нагружения, представим как

$$P_{Bi} = P_{B0} \frac{r_i}{r_0} \cos(\beta_i), \quad (2)$$

$$P_{Hi} = \frac{P_{Bi} \cdot \cos(\beta_i)}{\cos(\alpha_i)}. \quad (3)$$

С учетом равенства (2), выражение (1) примет вид

$$Q = P_{B0} \left[1 + 2 \sum_{i=1}^n [t_i \cdot \cos^2(\beta_i)] \right], \quad (4)$$

здесь

$$t_i = \frac{r_i}{r_0}.$$

Преобразовав равенство (4), будем иметь

$$P_{B0} = \frac{Q}{S_B}, \quad (5)$$

где S_B – геометрический фактор механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины, определяемый по формуле

$$S_B = 1 + 2 \sum_{i=1}^n [t_i \cdot \cos^2(\beta_i)]. \quad (6)$$

Подставив в формулу (2) равенство (5), получим

$$P_{Bi} = \frac{Q}{S_B} t_i \cdot \cos^2(\beta_i). \quad (7)$$

С учетом равенства (7) приведем формулу (3) к виду

$$P_{Hi} = \frac{Q \cdot t_i \cdot \cos^3(\beta_i)}{S_B \cdot \cos(\alpha_i)}. \quad (8)$$

Используя программный комплекс «Эксцентрик», по формулам (7) и (8) выполняем расчет величин статических сил, приложенных в точки i_B и i_H соответствующие точкам контакта i -ого ролика с дорожками качения внутреннего и наружного колец, расположенного в пределах зоны силового нагружения. Вычисления проводим для всех видов симметричных структурных схем механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами разной величины. Примем, что $R_H = 100$ мм, $R_B = 50$ мм, $e = 6$ мм, $c = 6$ мм, внешняя радиальная сила $Q = 10000$ Н. По полученным результатам выполняем синтез диаграммы статических сил механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины (рис. 2).

Сравнительный анализ сил, действующих в точках контакта тел качения с дорожками качения внутреннего кольца (рис. 2, кривые $1_B, 2_B, 3_B, 4_B$) и наружного кольца (рис. 2, кривые $1_H, 2_H, 3_H, 4_H$) показывает на незначительное расхождение их величин пропорциональное изменению угла клина (γ_i), образованного дорожками качения колец. Совпадение значений сил для кривых 1_B и 1_H , а также 2_B и 2_H наблюдается только для максимального тела качения находящегося в зоне нагружения. Дальнейший анализ диаграммы (рис. 2) показывает, что рост значений радиусов тел качения приводит к увеличению величины статических сил. Особенности состава структуры каждого вида механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины не оказывают влияния на вид кривой статических сил, однако сказываются на диапазонах изменения их величин.

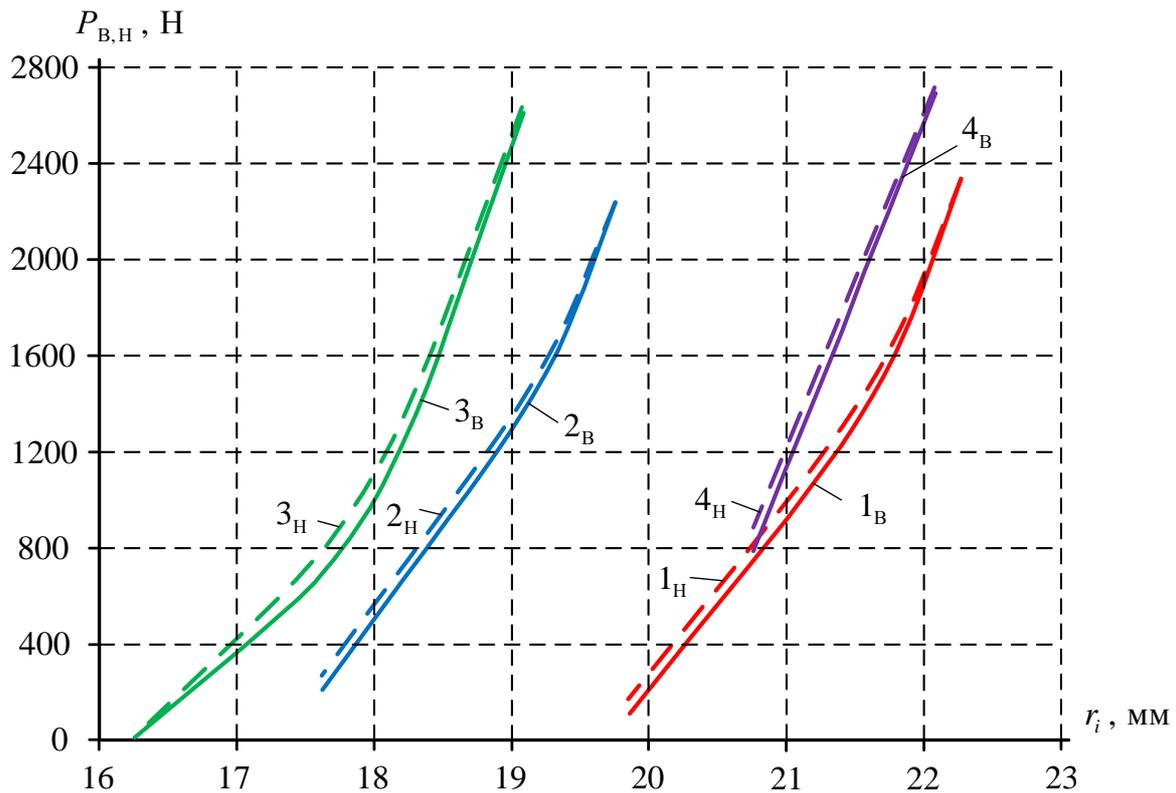


Рисунок 2 – Диаграмма статических сил для механизма с ЗСТК с диаметрами разной величины

Так кривым 1_в и 1_н (рис. 2) соответствует диапазон изменения 168-2345 Н, что объясняется наличием в структуре механизма на горизонтальной оси симметрии максимального и минимального тел качения и наибольшим числом тел качения в зоне силового нагружения. Кривым 2_в и 2_н соответствует диапазон изменения 282-2242 Н. В этом случае, рост минимальных значений при уменьшении границы максимальных величин статических сил является следствием расположения на горизонтальной оси симметрии только максимального тела качения и снижением величин радиусов тел качения при аналогичном их числе в зоне силового нагружения. Кривым 3_в и 3_н соответствует диапазону изменения 0-2638 Н при наличии в структуре механизма с ЗСТК на горизонтальной оси симметрии только минимального тела качения. Рост максимальных величин при уменьшении границы минимальных значений статических сил является следствием снижения величин радиусов тел качения при увеличении их числа в зоне силового нагружения. Кривым 4_в и 4_н соответствует диапазон изменения 890-2723 Н, что характерно отсутствию на горизонтальной оси симметрии и максимального и минимального тел качения. Рост минимальных значений при уменьшении границ максимальных величин статических сил вызван сокращением числа тел качения в зоне силового нагружения при росте величин их радиусов.

В результате получены формулы для расчета величин статических сил, приложенных в точки контакта роликов с дорожками качения внутреннего и наружного колец, расположенных в пределах зоны силового нагружения для любого вида симметричной структурной схемы механизма с замкнутой системой тел качения с диаметрами разной величины. Установлен характер их изменения и диапазон их возможных значений. Это позволяет обеспечить работоспособность приводов технологического оборудования разработанных на базе механизмов с ЗСТК с диаметрами разной величины.