

# ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭМК ПРИ ОТСУТСТВИИ ТЕЛ КАЧЕНИЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ СИММЕТРИИ

Лысая М. С., Падавальный Д. С.

Научные руководители – доцент Мерко М. А., ст. преподаватель Меснянкин М. В.  
*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

В зависимости от наличия или отсутствия максимального и минимального тел качения на горизонтальной оси симметрии структурная схема эксцентрикового механизма качения (ЭМК) может быть представлена в соответствии с рис. 1. Каждая структурная схема ЭМК реализована совокупностью наружного и внутреннего колец и тел качения с радиусами разной величины при наличии сепаратора или без данного звена. Однако условия симметрии для рассматриваемых видов структурных схем будут различны, что, необходимо учитывать при выполнении расчета номинальных значений геометрических параметров эксцентрикового механизма качения.

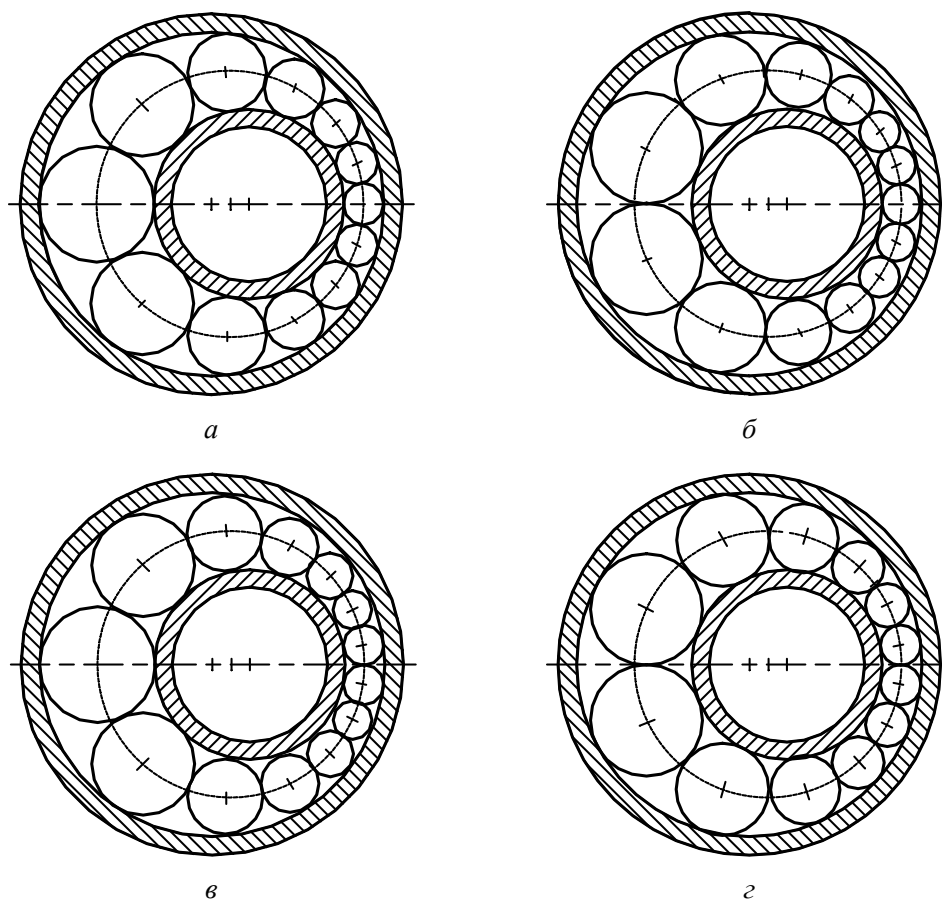


Рисунок 1

Ранее в работах научных руководителей дано сравнительное описание представленных видов симметричных схем ЭМК, а также изложена методика расчета номинальных значений геометрических параметров для симметричных схем, представленных на рис. 1, а, б. Данные схемы имеют особенности строения структуры, которые формируют основные и дополнительные начальные условия расчета номинальных значений геометрических параметров эксцентрикового механизма качения.

Основные начальные условия для эксцентрикового механизма качения, реализованного по схеме рис. 1, а, имеют следующий вид:

$$\begin{cases} e \neq 0 \\ r_0 \neq 0 \\ r_z \neq 0 \end{cases},$$

а для ЭМК исполненного по схеме рис. 1, б

$$\begin{cases} e \neq 0 \\ r_0 = 0 \\ r_z \neq 0 \end{cases},$$

где  $e$  – эксцентриситет;  $r_0$  и  $r_z$  – радиусы максимального и минимального тел качения.

Дополнительное начальное условие для обеих рассматриваемых схем эксцентрикового механизма качения в зависимости от наличия или отсутствия в схеме сепаратора может быть представлено

$$c \neq 0 \text{ или } c = 0,$$

здесь  $c$  – зазор между телами качения.

В данной работе приводится дальнейшее развитие методики определения номинальных значений геометрических параметров ЭМК учитывающее особенности строения структуры симметрической схемы, представленной на рис. 1, з.

Для рассматриваемой симметричной схемы эксцентрикового механизма качения характерно отсутствие на горизонтальной оси симметрии и минимального и максимального тела качения. В этом случае основные начальные условия расчета номинальных значений геометрических параметров эксцентрикового механизма качения, примут следующий вид

$$\begin{cases} e \neq 0 \\ r_0 = 0 \\ r_z = 0 \end{cases}.$$

Учитывая данное обстоятельство, внесем в предшествующие расчетные схемы ряд изменений. Исключим из состава расчетной схемы и максимальное и минимальное тела качения. Сместим первое тело качения и тело качения предшествующее минимальному таким образом, чтобы расстояние от поверхности качения данных звеньев до горизонтальной оси симметрии было равно половине величины зазора между телами качения. Свяжем систему координат  $XO_2Y$  с геометрическим центром дорожки качения наружного кольца (рис. 2), т. е. с точкой  $O_2$ . Проведем через точки  $M_1$  и  $M_{z-1}$  соответственно прямые  $M_1K_1$  и  $M_{z-1}K_{z-1}$  являющиеся нормальными оси  $X$ . Соединим точки  $M_1$  и  $M_{z-1}$  с точками  $O_2$  и  $O_1$ , являющимися геометрическими центрами дорожек качения. В результате описанных действий получим расчетную схему ЭМК с сепаратором при отсутствии на горизонтальной оси симметрии и минимального и максимального тела качения (рис. 2). На расчетной схеме

использованы следующие обозначения  $R_1, R_2$  – радиусы наружной и внутренней дорожек качения;  $r_1, r_2, r_{z-1}$  и точки  $M_1, M_2, M_{z-1}$  – радиусы и геометрические центры первого, второго тел качения и тела качения предшествующего минимальному телу качения;  $x_1, y_1$  – координаты геометрического центра первого тела качения;  $x_{z-1}, y_{z-1}$  – координаты геометрического центра тела качения предшествующего минимальному телу качения.

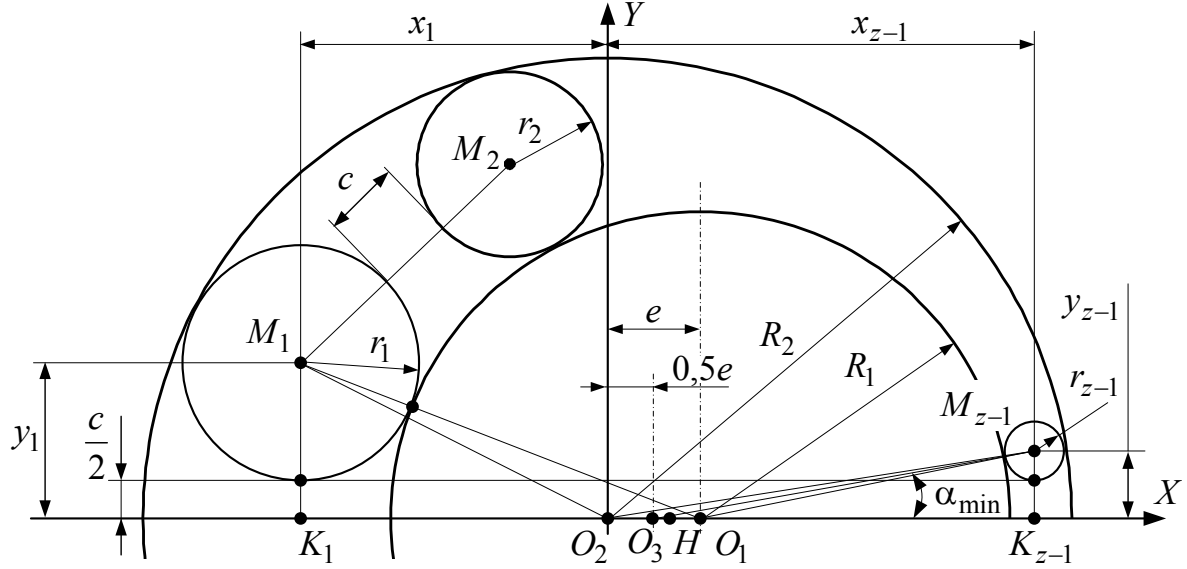


Рисунок 2

Анализируя треугольники  $\Delta O_2 K_{z-1} M_{z-1}$  и  $\Delta O_1 K_{z-1} M_{z-1}$  содержащиеся на расчетной схеме (рис. 2), получим систему уравнений

$$\begin{cases} (R_2 - r_{z-1})^2 = x_{z-1}^2 + y_{z-1}^2 \\ (R_1 + r_{z-1})^2 = (x_{z-1} + e)^2 + y_{z-1}^2 \\ r_{z-1}^2 = \left(y_{z-1} - \frac{c}{2}\right)^2 \end{cases} \quad (1)$$

Из составлено расчетной схемы (рис. 2) очевидно, что

$$y_{z-1} = r_{z-1} + \frac{c}{2}. \quad (2)$$

Разрешив систему уравнений (1) с учетом равенства (2), будем иметь

$$x_{z-1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \left( e \cdot \left( \frac{c}{2R_2} + 1 \right) - \frac{1}{2R_2} \left( c^2 (e^2 - (R_1 + R_2)^2) + 4R_2 \left( \frac{e^2}{2} - R_1 e^2 + R_1 (R_1 + R_2)^2 \right) + 2c (R_1^3 + R_2 R_1^2 - R_1 R_2^2 - R_2^3 - R_1 e^2) \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (3)$$

$$r_{z-1} = \frac{(x_{z-1} + e)^2 - R_1^2 + \frac{c^2}{4}}{2 \cdot \left(R_1 - \frac{c}{2}\right)}. \quad (4)$$

Выражения (2) и (3) позволяют определить значения координат геометрического центра тела качения предшествующего минимальному телу качения в принятой системе  $XO_2Y$  (рис. 2). Равенство (4) дает возможность рассчитать величину радиуса этого тела качения. Выражения (2) – (4) совместно являются конечными условиями расчета значений геометрических параметров для симметричной схемы эксцентрикового механизма качения, представленной на рис. 1, 2 при наличии сепаратора. Определение значений геометрических параметров остальных тел качения для рассматриваемой схемы ЭМК, расчет величины и ввод поправки, выполняются аналогично алгоритмов, представленных в работе Мерко М. А. применительно к симметричной схеме эксцентрикового механизма качения с расположением на горизонтальной оси симметрии и максимального и минимального тел качения. Однако, условие прекращения вычислений величин номинальных значений геометрических параметров для рассматриваемой симметричной схемы ЭМК имеют следующий вид

$$\alpha_{Wz} = 180^\circ - \alpha_{\min},$$

где  $\alpha_{Wz}$  и  $\alpha_{\min}$  – суммарный и расчетный угол расположения тела качения предшествующего минимальному телу качения относительно точки  $O_3$  являющейся центром эксцентриситета.

Величину расчетного угла расположения тела качения предшествующего минимальному телу качения эксцентрикового механизма качения определим по следующему выражению

$$\alpha_{\min} = \arccos \left( \left( 1 - \frac{4 \cdot \left( r_{z-1} + \frac{c}{2} \right)^2}{2 \cdot \left( (R_2 - r_{z-1})^2 + (R_1 - r_{z-1})^2 \right) - e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right),$$

здесь  $e$  – эксцентриситет.

В случаи реализации эксцентрикового механизма качения по симметричной схеме, данной на рис. 1, 2 без сепаратора зазор между телами качения равняется нулю ( $c=0$ ), тогда расчетная схема, представленная на рис. 2 претерпит некоторые изменения (рис. 3).

С учетом расчетной схемы представленной на рис. 3 система уравнений (1) примет следующий вид

$$\begin{cases} (R_2 - r_{z-1})^2 = x_{z-1}^2 + y_{z-1}^2 \\ (R_1 + r_{z-1})^2 = (x_{z-1} + e)^2 + y_{z-1}^2 \\ r_{z-1}^2 = y_{z-1}^2 \end{cases} \quad (5)$$

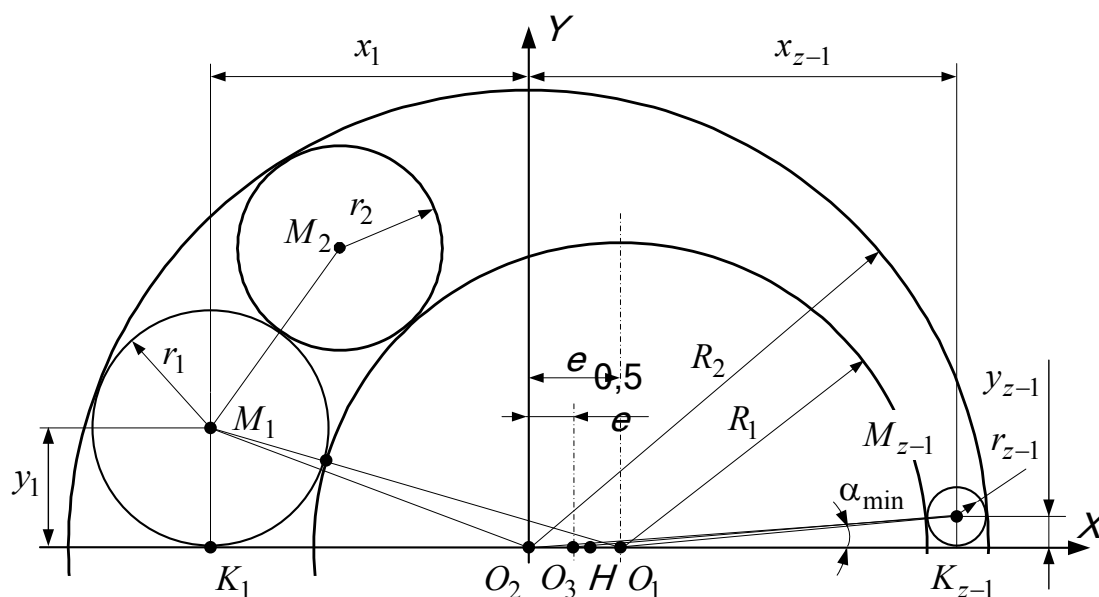


Рисунок 3

Из расчетной схемы (рис. 3) очевидно, что

$$y_{z-1} = r_{z-1}, \quad (6)$$

Разрешив систему уравнений (5), получим:

$$x_{z-1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left( e - \left( e^2 - \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} (e^2 - R_1(R_1 + R_2)) \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (7)$$

$$r_{z-1} = \frac{(x_{z-1} + e)^2 - R_1^2}{2R_1}. \quad (8)$$

Выражения (6) и (7) позволяют определить значения координат геометрического центра тела качения предшествующего минимальному телу качения в принятой системе  $XO_2Y$  (рис. 3). Равенство (8) дает возможность рассчитать величину радиуса этого тела качения. Выражения (6) – (8) совместно являются конечными условиями расчета номинальных значений геометрических параметров для симметричной схемы эксцентрикового механизма качения, представленной на рис. 1, 2 без сепаратора. Определение значений остальных геометрических параметров ЭМК производится аналогично описанному выше случаю.

По выражениям (2) – (4) и (6) – (8) выполнен расчет геометрических параметров для симметричной схемы эксцентрикового механизма качения при наличии сепаратора или без данного звена, используя разработанное программное обеспечение, реализованное в среде Delphi-7. Исходными данными являлись:  $R_2 = 60$  мм,  $R_1 = 40$  мм,  $e = 4$  мм и  $c = 5$  мм. Результаты расчетов номинальных значений геометрических параметров для симметричной схемы эксцентрикового механизма качения, представленной на рис. 1, 2 даны в таблице 1.

Таблица 1

№ тела качения	без зазора между телами качения			с зазором между телами качения		
	поправка в расчет вводилась по радиусу наружной дорожки качения					
	$R_1 = 37,86 \text{ мм}$			$R_1 = 36,42 \text{ мм}$		
	радиус тела качения, мм	координаты геометрического центра тела качения		радиус тела качения, мм	координаты геометрического центра тела качения	
		$x$	$y$		$x$	$y$
0	12,99	-45,12	12,99	13,35	-43,73	15,86
1	12,46	-32,10	35,06	12,85	-25,18	39,78
2	11,61	-11,23	47,07	11,61	4,31	48,11
3	10,70	11,06	48,04	10,48	32,24	37,51
4	9,92	30,07	40,05	9,85	48,45	12,35
5	9,38	43,39	26,08	----	----	----
6	9,10	9,10	50,04	----	----	----
№ тела качения	поправка в расчет вводилась по радиусу внутренней дорожки качения					
	$R_2 = 59,88 \text{ мм}$			$R_2 = 59,70 \text{ мм}$		
	радиус тела качения, мм	координаты геометрического центра тела качения		радиус тела качения, мм	координаты геометрического центра тела качения	
		$x$	$y$		$x$	$y$
0	11,88	-46,50	11,88	11,53	-46,13	14,03
1	11,40	-35,79	32,62	11,16	-31,87	36,75
2	10,73	-17,92	45,76	10,16	-7,73	49,02
3	9,92	2,33	49,90	9,12	18,37	47,21
4	9,17	21,06	46,12	8,32	39,41	33,15
5	8,57	36,01	36,54	7,86	50,77	10,39
6	8,17	46,19	23,25	----	----	----
7	7,96	51,30	7,96	----	----	----

Анализ данных таблицы 1 показывает, что ввод в расчёт поправки по радиусу наружной дорожки качения позволяет получить максимально возможные величины радиусов тел качения ЭМК. В этом случае износ рабочих поверхностей тел качения будет меньше, что позволит повысить ресурс работы эксцентрикового механизма качения. Однако, чем меньше радиусы тел качения, тем меньше необходимо кинетической энергии для обеспечения процесса качения. В тоже время минимизация радиусов тел приводит к уменьшению массово-габаритных характеристик эксцентрикового механизма качения. В данном отношении преимущество имеет ЭМК, параметры которого определены при вводе поправки по радиусу внутренней дорожки качения. Выполненное графическое моделирование эксцентрикового механизма качения с геометрическими параметрами по таблице 1 показало удовлетворительную собираемость для всех представленных вариантов расчета.

В результате получено дальнейшее развитие метода расчета номинальных значений геометрических параметров ЭМК, что позволяет увеличить количество возможных решений, повысить точность получаемых результатов, а также исключить возникновение ситуации, когда задача определения требуемых значений геометрических параметров эксцентрикового механизма качения, не имеет решений.