

КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМОВ С ЗСТК ПО РАДИУСУ ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦА

Мерко М.А.¹, Меснянкин М.В.¹, Колотов А.В.¹, Кайзер Ю.Ф.¹, Лысянников А.В.¹

¹ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79), e-mail: m.merko@mail.ru

Проведен анализ состояния рассматриваемой проблемы. Показано, что для механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК) с диаметрами равной величины задача по определению номинальных величин геометрических параметров при начальных условиях, когда все исходные параметры являются постоянными и принимают значения больше нуля, может не иметь решения. Предложены направления исключения подобной ситуации. Составлены расчетные модели и получены формулы для расчета номинальных величин геометрических параметров механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и поправки. Представлен алгоритм корректировки расчета номинальных величин геометрических параметров для любого вида симметричной структурной схемы механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины посредством ввода поправки в расчет по радиусу дорожки качения внутреннего кольца. Полученные результаты исследования прошли апробацию на международной научно-практической конференции (проект Sworld). Разработан программный комплекс «Эксцентрик», который зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности России (РОСПАТЕНТ).

Ключевые слова: замкнутая система тел качения (ЗСТК), механизм с замкнутой системой тел качения, тела качения, сепаратор, дорожка качения, геометрические параметры.

ADJUSTMENT TO THE CALCULATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF MECHANISMS WITH CSRE ON THE RADIUS OF THE INNER RING RACEWAY

Merko M.A.¹, Mesnyankin M.V.¹, Kolotov A.V.¹, Kaiser Y.F.¹, Lysyannikov A.V.¹

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk, Svobodny Prospect, 79), e-mail: m.merko@mail.ru

The analysis of the status of the problem. It is shown that for mechanisms with a closed system of rolling elements (CSRE) with diameters of equal size of determining the nominal values of geometrical parameters for the initial conditions when all of the original parameters are constant and take a value greater than zero may not have a solution. Proposed directions of exceptions such a situation. Are composed of the estimated models and derived formulas for the calculation of the nominal values of geometrical parameters mechanisms with CSRE with diameters equal Velychne and amendments. An algorithm for adjustment to the calculation of the nominal values of geometrical parameters for any kind of symmetric structural mechanisms with CSRE with diameters of equal size by entering amendments in the calculation of the radius of the raceways of the inner ring. The results obtained have passed approbation at the international scientific-practical conference (project Sworld). Software is developed in the form of a software complex «Eccentric», which is registered in the Register of the computer programs of the Federal service for intellectual property of Russia (ROSPATENT).

Keywords: rolling body closed system, mechanism with rolling body closed system, rolling body, cage, raceway, geometrical parameters.

Введение

Эффективность операций, реализуемых при помощи технологического оборудования, напрямую связана с формой рабочей поверхности исполнительного органа и видом движения, им совершаемого, а также рационально подобранными геометрическими параметрами механизма привода. Повышение эффективности этих операций является актуальной задачей, решение которой возможно обеспечить посредством использования механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК), позволяющих реализовать сложное

движение выходного звена при минимально возможном числе подвижных звеньев. Механизмы с ЗСТК обладают структурой, которая образована совокупностью двух колец с дорожками качения, сепаратора (водило) и тел качения с диаметрами равной или разной величины, которые могут обладать рабочими поверхностями с выступами (зубчатые) [1; 2] или гладкими поверхностями (фрикционные) [3-10].

Коллектив авторов проводит теоретические и экспериментальные исследования геометрических и кинематических параметров исполнительных механизмов технологического оборудования, разработанного на базе механизмов с ЗСТК с диаметрами разной (эксцентриковые) [1-3; 6; 7; 9; 10] или равной (соосные) [4-6; 8; 10] величины. В ходе исследований установлено: если замкнутая система тел качения обладает диаметрами равной величины, то задача определения номинальных значений геометрических параметров механизмов с ЗСТК должна решаться при начальных условиях, что исходные параметры являются постоянными и принимают значения больше нуля

$$\left\{ \begin{array}{l} (R_H = \text{const}) > 0, \\ (R_B = \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) \geq 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где R_B и R_H – радиусы концентрически расположенных дорожек качения внутреннего и наружного колец; r и c – радиус тел качения и зазор между ними.

Авторами установлено, что рассматриваемая задача является не линейной и при начальных условиях (1) может не иметь решения. Для исключения подобных случаев необходима корректировка системы (1) посредством ввода поправки в расчет номинальных значений геометрических параметров, считая, что один из исходных параметров является величиной переменной [3]. Вариация значениями радиуса тел качения и зазора не позволяет достичь требуемого результата. В этом случае получаем, что решение поставленной задачи имеет два возможных направления ввода поправки, т.е. либо $R_H \neq \text{const}$, либо $R_B \neq \text{const}$.

Настоящее исследование проводится с целью разработки алгоритма корректировки расчета номинальных значений геометрических параметров механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины для любого вида симметричной структурной схемы посредством ввода поправки в расчет по радиусу дорожки качения внутреннего кольца. Полученные результаты позволят повысить эффективность расчета номинальных величин геометрических параметров механизмов с ЗСТК и точность получаемых результатов.

Методы исследования, применяемые в настоящей работе, основаны на принципах геометрического анализа механизмов при использовании положений геометрии, свойств тригонометрических функций и остроугольных разносторонних треугольников.

В соответствии с вышеуказанной целью начальные условия системы (1) примут следующий вид

$$\begin{cases} (R_H = \text{const}) > 0, \\ (R_B \neq \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) позволяет получить два возможных варианта структуры механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины, как при наличии, так и при отсутствии зазора между телами качения (рис. 1).

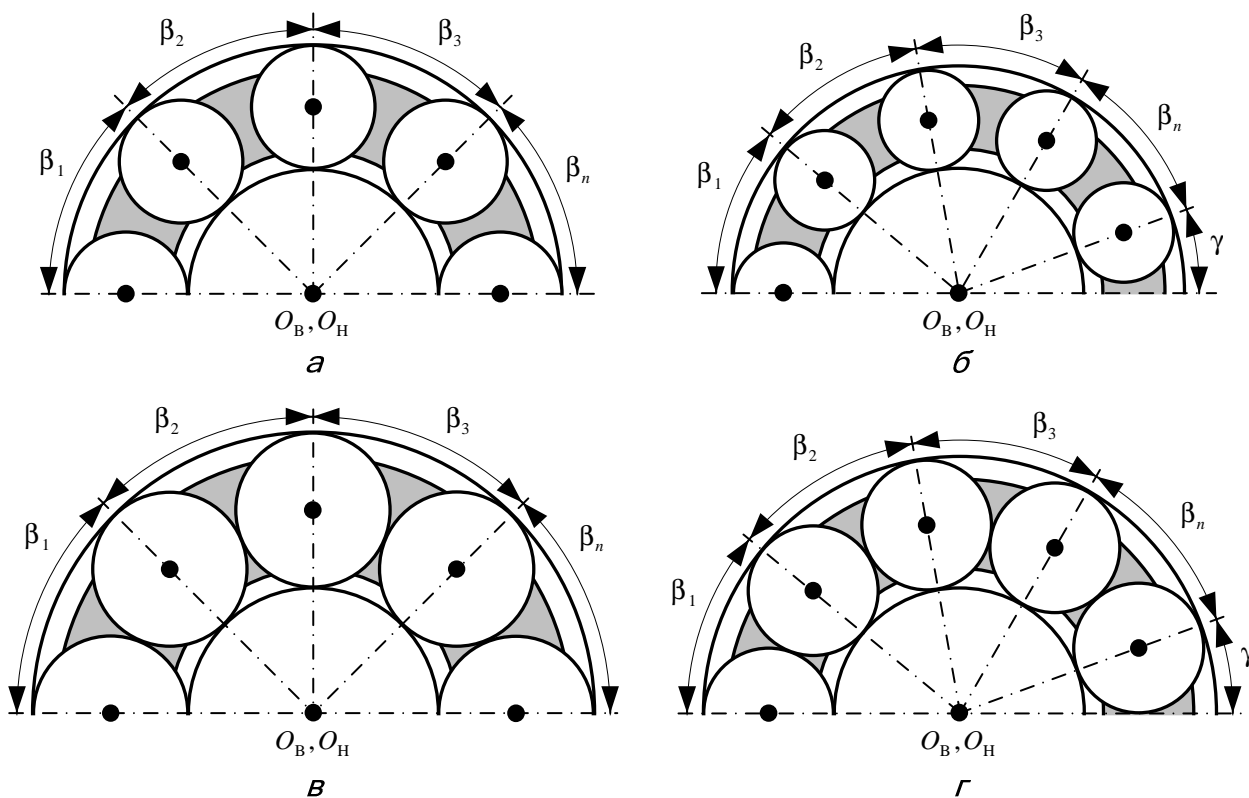


Рис. 1. Виды симметричных структурных схем механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины. Тела качения расположены: а, б - с зазором; в, г - без зазора; O_B, O_H – центры дорожек качения колец; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_n, \gamma$ – углы положения тел качения

При исходных условиях (2) радиус дорожки качения внутреннего кольца определим в соответствии с работами [4; 8], по формуле

$$R_B = \frac{R_H \cdot \left(1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) + c}{1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \quad (3)$$

Радиусы дорожек качения наружного и внутреннего колец механизма с ЗСТК рассматриваемого вида (рис. 1) находятся в следующей зависимости

$$R_B = R_H - 2 \cdot r. \quad (4)$$

здесь $r = r_0 = r_1 = r_i$ – радиус тел качения.

Подставив (4) в (3) и преобразовав, получим выражение для определения радиуса тел качения при условиях системы (2)

$$r = \frac{R_H \cdot \sin\left(\frac{\pi}{z}\right) - \frac{c}{2}}{1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \quad (5)$$

Углы положения тел качения и их число вычислим в соответствии с работами [4; 8]

$$\beta = 2 \arcsin\left(\frac{R_H - R_B + c}{R_B + R_H}\right), \quad (6)$$

$$z = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{R_H - R_B + c}{R_B + R_H}\right)}. \quad (7)$$

Геометрические параметры, полученные по формулам (3), (5) — (7), должны удовлетворять одному из вариантов условия симметрии механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины в зависимости от числа тел качения на горизонтальной оси симметрии [6]:

$$\text{два тела качения (рис. 1 а, в)} \quad \sum_{i=1}^n \beta_i = 180^\circ, \quad (8)$$

$$\text{одно тело качения (рис. 1 б, г)} \quad \sum_{i=1}^n \beta_i + \gamma = 180^\circ, \quad (9)$$

где n – число тел качения на угле от 0 до π , β_i – угол положения i -го тела качения, γ – угол, определяемый согласно рис. 1 б, г.

При не выполнении условий симметрии (8) и (9) необходим ввод поправки в расчет, значение которой определим по выражению

$$\Delta = \frac{\Theta}{n+1}, \quad (10)$$

здесь Θ – отрезок, обладающий меньшей длиной из Θ_{n-1} или Θ_{n+1} .

С целью определения длин отрезков Θ_{n-1} и Θ_{n+1} составим расчетную модель (рис. 2а) механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при наличии на горизонтальной оси симметрии двух тел качения (рис. 1 а, в).

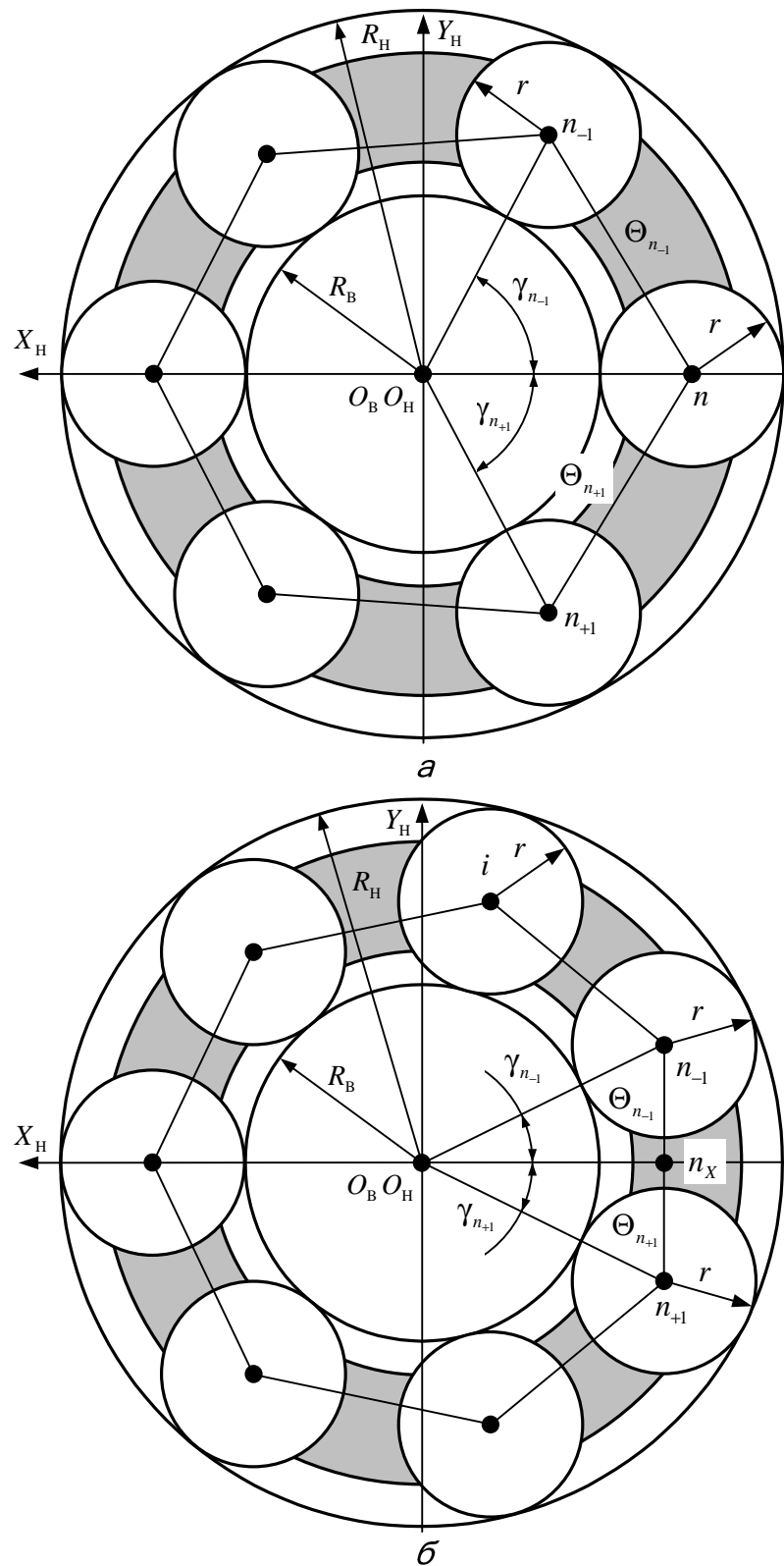


Рис. 2. Расчетная модель для определения длин отрезков Θ_{n-1} и Θ_{n+1} при наличии на горизонтальной оси симметрии: а – двух тел качения; б – одного тела качения

Из анализа треугольников $\Delta O_B n_{-1} n$ и $\Delta O_B n_{+1} n$ (рис. 2) при $r = r_n = r_{n-1} = r_{n+1}$ получим следующие равенства:

$$\Theta_{n-1} = |n_{-1} n| = (R_B + r) \sqrt{2(1 - \cos(\gamma_{n-1}))}, \quad (11)$$

$$\Theta_{n+1} = |n_{+1} n| = (R_B + r) \sqrt{2(1 - \cos(\gamma_{n+1}))}, \quad (12)$$

где γ_{n-1} и γ_{n+1} – углы положения тел качения (рис. 2а).

Углы γ_{n-1} и γ_{n+1} в (11) и (12) определим по формуле

$$|\gamma_{n\pm 1}| = 180^\circ - \sum_{i=1}^n \beta_i, \quad (13)$$

здесь β_i определяется по формуле (6).

При наличии на горизонтальной оси симметрии одного тела качения расчетная модель механизмов данного вида будет выглядеть, как представлено на рис. 2б, а длины отрезков Θ_{n-1} и Θ_{n+1} определим по формулам:

$$\Theta_{n-1} = |n_{-1} n_X| = \sqrt{(R_B + r)^2 - (R_B + r) \cos(\gamma_{n-1})}, \quad (14)$$

$$\Theta_{n+1} = |n_{+1} n_X| = \sqrt{(R_B + r)^2 - (R_B + r) \cos(\gamma_{n+1})}, \quad (15)$$

где γ_{n-1} и γ_{n+1} – углы положения тел качения (рис. 2б), определяются по (13).

Корректировка расчета номинальных значений геометрических параметров механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины осуществляется посредством ввода поправки в расчет по радиусу дорожки качения внутреннего кольца. Алгоритм корректировки предполагает следующий порядок действий: согласно начальным условиям (2) радиус дорожки качения наружного кольца оставляем без изменений, а радиус дорожки качения внутреннего кольца изменяем по формуле

$$R_B = R_H - 2(r_0 - \Delta). \quad (16)$$

Далее проводим новую итерацию расчета геометрических параметров по формулам (3), (5) — (7). По полученным значениям проверяем условия симметрии (8) или (9). При положительном результате прекращаем вычисления. При отрицательном результате, используя (10) — (15), определяем новое значение поправки, а по (16) проводим корректировку радиуса дорожки качения наружного кольца. Затем повторяем описанные выше действия. Расчет продолжаем до выполнения условия симметрии (8) или (9).

Разработанный алгоритм корректировки расчета номинальных величин геометрических параметров механизмов с ЗСТК прошел апробацию на международной научно-практической конференции (проект Sworld). Используя результаты исследования,

авторы разработали программное обеспечение, которое представляет собой программный комплекс «Эксцентрик», зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) [10].

Заключение. В результате проведенных действий сформированы системы начальных условий. Получены формулы для расчета величины поправки. Разработан алгоритм корректировки расчета номинальных величин геометрических параметров для любого вида симметричной структурной схемы (рис. 1) механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины посредством ввода поправки в расчет по дорожке качения внутреннего кольца.

Список литературы

1. Беляков Е.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Обеспечение требуемого движения выходного звена эксцентрикового эпициклического механизма // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. № 4. С. 47-51.
2. Белякова С.А., Груздев Д.Е., Беляков А.Н., Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Применение дифференциального механизма для шлифования плоских поверхностей // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 5. № 4. С. 51-56.
3. Мерко М.А. Кинематические и геометрические характеристики эксцентрикового механизма качения : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. Красноярск, 2002. 26 с.
4. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Формирование областей существования механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины с сепаратором (водило) при вводе поправки по дорожке качения внутреннего кольца // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 4. С. 54-58.
5. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е. Моделирование результатов решения задачи по определению номинальных величин геометрических параметров симметричных структурных схем механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины // Молодой ученый. 2013. № 7. С. 60-65.
6. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е. Условия симметрии механизмов с замкнутой системой тел качения // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 3. С. 29-34.

7. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е. Результаты решения задачи о положениях звеньев ЭМК при ведущем внутреннем кольце // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 1. С. 35-41.
8. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Колотов А.В., Митяев А.Е., Белякова С.А. Определение границ областей существования механизма-прототипа ЭМК без сепаратора при вводе поправки по дорожке качения наружного кольца // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2013. Т. 3. № 1. С. 33-38.
9. Меснянкин М.В., Мерко М.А., Митяев А.Е., Колотов А.В., Груздев Д.Е. Особенности геометрии симметричных структурных схем механизмов с ЗСТК с диаметрами разной величины // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2013. Т. 4. № 2. С. 55-61.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614197. Программный комплекс «Эксцентрик» / Меснянкин А.В., Мерко М.А. Колотов А.В., Груздев Д.Е., Митяев А.Е., Беляков Е.В.; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; заявка № 2012612100 от 22.03.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.05.12.

Рецензенты:

Петровский Э.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Желудкевич Р.Б., д.т.н., доцент, профессор кафедры авиационных горюче-смазочных материалов, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.