УДК 621.838.2

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ЗСТК С ДИАМЕТРАМИ РАВНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРИ ВЕДУЩЕМ ВНУТРЕННЕМ КОЛЬЦЕ И ВВОДЕ ПОПРАВКИ ПО РАДИУСУ ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ ЭТОГО ЖЕ ЗВЕНА

Мерко М.А.[1], Меснянкин М.В.[1], Кайзер Ю.Ф.[1], Колотов А.В.[1], Митяев А.Е.[1], Лысянников А.В.[1], Кузнецов А.В.[2]

[1]*ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79), e-mail: m.merko@mail.ru*
[2]*ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, Россия (660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90), e-mail: kuznetsov1223@yandex.ru*

Проведен анализ состояния рассматриваемой проблемы. Приводится решение задачи по определению всех видов передаточных отношений на примере планетарных механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров по радиусу дорожки качения этого же звена. Составлена расчетная модель, получены формулы и установлены возможные диапазоны значений всех видов передаточных отношений механизмов рассматриваемого вида. Полученные результаты позволяют формировать приводы технологического оборудования на базе планетарных механизмов с замкнутой системой тел качения, обладающих требуемыми передаточными отношениями. Разработан программный комплекс «Эксцентрик», зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности России (РОСПАТЕНТ), позволяющий повысить эффективность процесса реализуемых вычислений номинальных величин геометрических параметров и передаточных отношений механизмов рассматриваемого вида.

Ключевые слова: замкнутая система тел качения, механизм с замкнутой системой тел качения, тела качения, сепаратор, дорожка качения, передаточные отношения.

THE GEAR RATIO OF THE PLANETARY MECHANISM WITH A CLOSED SYSTEM OF ROLLING ELEMENTS WITH A DIAMETER EQUAL TO THE MAGNITUDE LED INNER RING AND INTRODUCE CORRECTIONS ALONG THE RADIUS OF THE RACEWAY OF THE SAME LINK

Merko M.A.[1], Mesnyankin M.V.[1], Kaiser Y.F.[1], Kolotov A.V.[1], Mityaev A.Ye.[1], Lysyannikov A.V.[1], Kyznetsov A.V.[2]

[1]*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk, Svobodny Prospect, 79), e-mail: m.merko@mail.ru*
[2]*Krasnoyarsk state agrarian University, Krasnoyarsk, Russia (660049, Krasnoyarsk, World Prospect, 90), e-mail: kuznetsov1223@yandex.ru*

The analysis of the status of the problem. The solution to a problem by definition of all types of gear ratios on the example of the planetary mechanisms with a closed system of rolling bodies with diameters of equal size with the leading inner ring and entering amendments in the calculation of the nominal values geometric parameters on the radius of the raceways of the same level. Compiled computational model, formulas are obtained and installed plausible ranges of all kinds of ratios mechanisms of this kind. The results obtained allow to form the drive technological equipment on the basis of the planetary mechanisms with a closed system of rolling bodies with the required ratios. Has developed the software complex "Eccentric" registered in the Register of the computer programs of the Federal service for intellectual property of Russia (ROSPATENT), allowing to increase the efficiency of the implemented calculation of nominal values of geometrical parameters and ratios mechanisms of this kind.

Keywords: rolling body closed system, mechanism with rolling body closed system, rolling body, cage, raceway, reduction ratios.

Введение

Корректность определения передаточных отношений преобразующего механизма позволяет обеспечить работоспособность привода технологического оборудования посредством согласования входных и выходных параметров энергетической и рабочей

машин. Повышение эффективности операций, реализуемых при помощи технологического оборудования, является актуальной задачей, решение которой возможно обеспечить посредством использования механизмов с замкнутой системой тел качения (ЗСТК), обладающих требуемыми передаточными отношениями и 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] или гладкими поверхностями (фрикционные) [2-10].

Коллектив авторов проводит исследования геометрических и кинематических параметров исполнительных механизмов технологического оборудования, разработанного на базе механизмов с ЗСТК с диаметрами разной (эксцентриковые) [1; 2; 6-10] или равной (соосные) [3-6] 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 величинами больше нуля при наличии или отсутствии зазора между телами качения

$$\begin{cases} (R_{\text{Н}} = \text{const}) > 0, \\ (R_{\text{В}} = \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) \geq 0, \end{cases} \tag{1}$$

где $R_{\text{В}}$ и $R_{\text{Н}}$ – радиусы дорожек качения внутреннего и наружного колец; r и c – радиус тел качения и зазор между ними.

Для решения задачи по определению номинальных величин геометрических параметров при системе (1) необходим ввод поправки в расчет, считая, что один из исходных параметров является величиной переменной. Вариация значениями радиуса тел качения и зазора не позволяет достичь требуемого результата. В этом случае получаем, что решение имеет два возможных направления ввода поправки, т.е. либо $R_{\text{Н}} \neq \text{const}$, либо $R_{\text{В}} \neq \text{const}$.

Настоящее исследование проводится с целью разработки алгоритма определения передаточных отношений механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины для любого вида симметричной структурной схемы при ведущем внутреннем кольце посредством ввода поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров по радиусу дорожки качения этого же звена. Полученные результаты позволят формировать приводы технологического оборудования на базе механизмов с ЗСТК, обладающих требуемыми величинами передаточных отношений.

Методы исследования, применяемые в настоящей работе, основаны на принципах кинематического анализа эпициклических механизмов при использовании положений геометрии и метода обращенного движения.

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

$$\begin{cases} (R_{\text{Н}} = \text{const}) > 0, \\ (R_{\text{В}} \neq \text{const}) > 0, \\ (r = \text{const}) > 0, \\ (c = \text{const}) \geq 0. \end{cases} \tag{2}$$

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.

Следуя условию существования [8], число тел качения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором найдем по формуле

$$z = \frac{\pi}{\arcsin\left(\dfrac{R_{\text{Н}} - R_{\text{В}} + c}{R_{\text{В}} + R_{\text{Н}}}\right)}. \tag{3}$$

При начальных условиях системы (2) и в соответствии с выбранным направлением ввода поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров преобразование равенства (3) позволит получить формулу для вычисления радиуса дорожки качения наружного кольца

$$R_{\text{Н}} = \frac{R_{\text{В}} \cdot \left(1 + \sin\left(\dfrac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\dfrac{\pi}{z}\right)}. \tag{4}$$

Механизмы с ЗСТК с диаметрами равной величины являются представителями эпициклических механизмов, следовательно, обладают тремя видами передаточного отношения: прямое, обратное и внутреннее, а также являются реверсивными. В зависимости от особенностей структуры, связанных с сочетанием подвижных и неподвижных звеньев, эпициклические механизмы данного вида являются либо планетарными, либо дифференциальными, которые могут работать в режиме редуктора (при $i > 1$) или мультипликатора (при $i < 1$).

Рассмотрим ход решения поставленной задачи по определению всех видов передаточных отношений на примере планетарного механизма с замкнутой системой тел качения (ЗСТК) с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (водило) в качестве выходного звена, считая,

что движение звеньев совершается без скольжения (проскальзывания). Для этого составим расчетную модель (рис. 1) и примем следующие обозначения: $ДК_В$, $ДК_Н$ и $O_В$, $O_Н$ – дорожки качения и геометрические центры внутреннего и наружного колец; S – сепаратор (водило); r_0, r_1, r_i и β_0, β_1, β_i – радиусы и углы положения тел качения; с – зазор между телами качения.

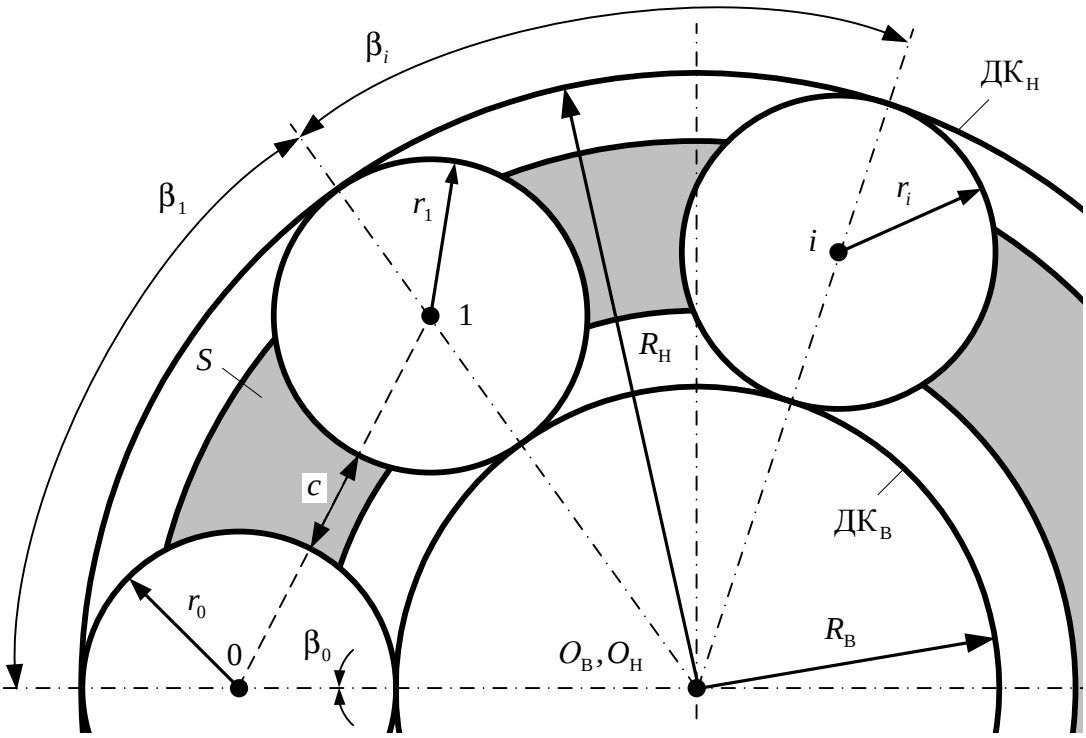

Рис. 1. Расчетная модель механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором

Формулу для прямого передаточного отношения планетарного механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (водило) в качестве выходного звена получим, используя метод обращенного движения

$$i_{BS}^{H} = 1 - i_{BH}^{S}, \tag{5}$$

где i_{BH}^{S} – внутреннее передаточное отношение механизма рассматриваемого вида при ведущем внутреннем кольце и неподвижном сепараторе (водило).

Внутреннее передаточное отношение механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором

$$i_{BH}^{C} = \left(+\frac{r}{R_В}\right)\left(-\frac{R_Н}{r}\right) = -\frac{R_Н}{R_В}, \tag{6}$$

здесь знаки «+» и «–» соответствуют внутреннему и внешнему контактам дорожек качения наружного и внутреннего колец с телами качения.

Подставив (4) в (6) и преобразовав, будем иметь

$$i_{\text{ВН}}^{S} = -\frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{В}}} = -\frac{\left(1+\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right)-c}{1-\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}, \tag{7}$$

С учетом (7) приведем формулу (5) к окончательному виду

$$i_{\text{BS}}^{\text{Н}} = 1+\frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{В}}} = 1+\frac{\left(1+\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right)-c}{1-\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}. \tag{8}$$

Формула (8) позволяет определить прямое передаточное отношение планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце, неподвижном наружном кольце и сепараторе (водило) в качестве выходного звена для обоих направлений ввода поправки в расчет геометрических параметров.

Обратное передаточное отношение планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины имеет место при ведущем сепараторе (водило), неподвижном наружном кольце и внутреннем кольце в качестве выходного звена, тогда с учетом (8) получим

$$i_{\text{SB}}^{\text{Н}} = \frac{1}{i_{\text{BS}}^{\text{Н}}} = \frac{1}{1+\frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{В}}}} = \frac{1}{1+\frac{\left(1+\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right)-c}{1-\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}}. \tag{9}$$

Варьируя числом тел качения в диапазоне (0-100) и значением радиуса дорожки качения внутреннего кольца в интервале (55-100) мм, проведем вычисления по выражениям (7)-(9) для всех видов передаточных отношений планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором $c = 2$ мм. Расчет выполняем для начальных условий по системе (2). С целью повышения эффективности процесса реализуемых вычислений авторами разработано программное обеспечение, которое представляет собой программный комплекс «Эксцентрик», зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности Российской Федерации (РОСПАТЕНТ № 2012614197).

Анализ результатов вычислений показывает, что изменение величины радиуса дорожки качения внутреннего кольца в выбранном интервале не оказывает существенного влияния на диапазоны значений передаточных отношений механизмов рассматриваемого вида. По результатам вычислений выполняем синтез диаграммы передаточных отношений планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки по радиусу дорожки качения этого же звена (рис. 2).

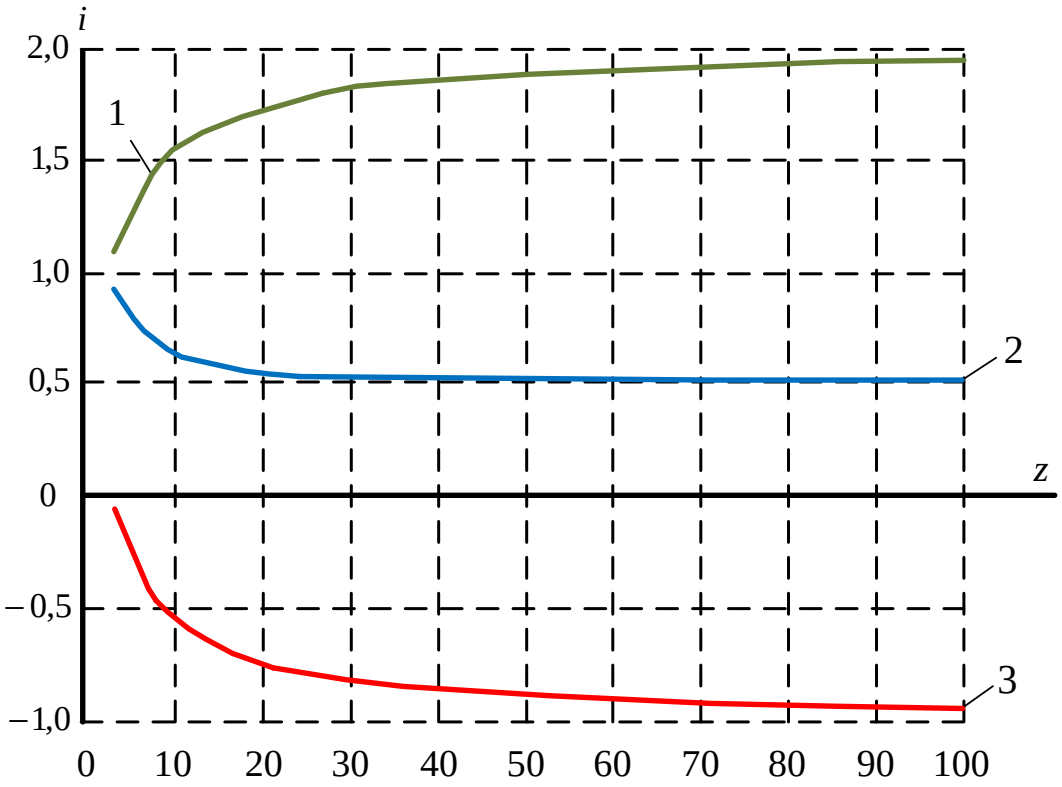

Рис. 2. Диаграмма передаточных отношений планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки по радиусу дорожки качения этого же звена: 1 – i_{BS}^{H}; 2 – i_{SB}^{H}; 3 – i_{BH}^{S}

Анализ диаграммы (рис. 2) показывает, что ввод поправки в расчет по радиусу дорожки качения внутреннего кольца позволяет планетарным механизмам с ЗСТК с диаметрами равной величины обладать передаточными отношениями в диапазонах: прямое $i_{BS}^{H} = (1{,}07 \div 1{,}94)$, обратное $i_{SB}^{H} = (0{,}52 \div 0{,}93)$ и внутреннее $i_{BH}^{S} = (-0{,}07 \div -0{,}94)$. Это означает, что рассматриваемые механизмы являются редукторами, т.е. силовыми механизмами, так как прямое передаточное отношение $i_{BS}^{H} > 1$. Значения обратного передаточного отношения указывают на то, что при ведущем сепараторе (водило), неподвижном наружном кольце и внутреннем кольце в качестве выходного звена планетарные механизмы с ЗСТК при данных условиях находятся в режиме мультипликатора, так как $i_{SB}^{H} < 1$, т.е. являются кинематическими механизмами. Ввод поправки по выбранному направлению незначительно расширяет диапазон значений прямого передаточного отношения, т.е. обеспечиваются максимально возможные величины передаточных отношений планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины. При этом рост числа тел качения приводит к увеличению только прямого передаточного отношения, так как при данных условиях внутреннее и обратное передаточные отношения уменьшаются.

Разработанный алгоритм определения передаточных отношений механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины применим для любого вида симметричной структурной схемы механизмов рассматриваемого вида при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров по радиусу дорожки качения этого же звена. Полученные результаты прошли апробацию на Международной научно-практической конференции (проект Sworld) [1; 7; 8], а также на IV Международной научно-практической дистанционной конференции, посвященной теме «Наука и образование» [10]. Используя результаты исследования, авторами разработано программное обеспечение, которое представляет собой программный комплекс «Эксцентрик», зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ № 2012614197).

Заключение. В результате проведенных действий выявлены все виды передаточных отношений планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при ведущем внутреннем кольце, получены формулы для определения их величин, а также установлены возможные диапазоны их значений и режимы работы формируемых механизмов при вводе поправки в расчет по дорожке качения внутреннего кольца. Это позволяет формировать приводы технологического оборудования на базе планетарных механизмов с ЗСТК, обладающих требуемыми величинами передаточных отношений, а также посредством согласования выходных и входных параметров энергетической и рабочей машин обеспечить работоспособность привода технологического оборудования.

Список литературы

1. 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.

2. Мерко М.А. Кинематические и геометрические характеристики эксцентрикового механизма качения : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.02.02. - Красноярск, 2002. - 26 с.

3. 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.

4. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В., Кайзер Ю.Ф., Лысянников А.В. Корректировка расчета геометрических параметров механизмов с ЗСТК по радиусу дорожки

качения внутреннего кольца // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 6. - URL: www.science-education.ru/113-11778.
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. Mesnyakin M.V., Merko M.A., Kolotov A.V., Mityaev A.Ye. Identification of the shape of curve joining centers of mechanisms rolling body systems // Science and Education : materials of the IV international research and practice conference, Munich – Germany. - 2013. - Vol. I. - P. 116-121.

Рецензенты:

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

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

Мишин В.М., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Строительство», Северо-Кавказский федеральный университет, г. Пятигорск.