

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА НА ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ЗСТК С ДИАМЕТРАМИ РАВНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРИ ВЕДУЩЕМ ВНУТРЕННЕМ КОЛЬЦЕ

**Мерко М.А.¹, Меснянкин М.В.¹, Колотов А.В.¹, Митяев А.Е.¹, Кайзер Ю.Ф.¹,
Лысянников А.В.¹, Лысянникова Н.Н.¹, Беякова С.А.¹, Литвинов П.С.¹, Бузова В.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. Приводятся результаты решения задачи по определению всех видов передаточных отношений для любого вида симметричной структурной схемы планетарных механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины. Вычисления выполнялись при ведущем внутреннем кольце для обоих направлений ввода поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров. Реализован синтез диаграмм передаточных отношений, что позволило выявить характер влияния зазора между телами качения замкнутой системы на величины передаточных отношений механизмов данного вида. Полученные результаты позволяют формировать привода технологического оборудования на базе планетарных механизмов с замкнутой системой тел качения обладающих требуемыми свойствами и передаточными отношениями. Разработан программный комплекс «Эксцентрик», зарегистрированный в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности России (РОСПАТЕНТ), позволяющий повысить эффективность, как научных исследований, так и конструкторских разработок.

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

THE INFLUENCE OF THE GAP ON THE GEAR RATIO OF THE PLANETARY MECHANISMS WITH A CLOSED SYSTEM OF ROLLING BODIES WITH DIAMETERS OF EQUAL SIZE WITH THE LEADING INNER RING

**Merko M.A.¹, Mesnyankin M.V.¹, Kolotov A.V.¹, Mityaev A.Y.¹, Kaiser Y.F.¹,
Lysyannikov A.V.¹, Lysyannikova N.N.¹, Belyakova S.A.¹, Litvinov P.S.¹, Burova V.V.¹**

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

The analysis of the problem. The results of solving the problem of determining all types of gear ratios for any kind of symmetrical block diagram of planetary mechanisms with the closed system of rolling bodies with diameters of equal magnitude. Calculations were performed with the leading inner ring for the two directions of input corrections into account the nominal values of geometric parameters. Implemented pattern synthesis ratios, which revealed the nature of the influence of the gap between the rolling elements of a closed system on the values of ratios mechanisms of this type. The obtained results allow to form a drive technological equipment based on planetary mechanisms with the closed system of the rolling elements with the required properties and ratios. Program complex "Eccentric" registered in the Register of the computer programs of the Federal Service for Intellectual Property Russia (Rospatent) for better efficiency as research, so engineering development.

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

Как отмечено авторами в работах [1-5, 9], работоспособность технологического оборудования обеспечивается посредством согласования ряда геометрических, кинематических и силовых параметров, основными из которых являются передаточные отношения как каждого элемента привода, так и всего привода в целом. Правильное определение передаточных отношений преобразующих механизмов, выступающих в роли элемента привода, позволяет повысить эффективность операций реализуемых

технологическим оборудованием в соответствии с его служебным назначением. Достижение данного явления возможно посредством формирования рациональной структурной схемы как всего привода, так и отдельных его элементов. Это является актуальной задачей, решение которой возможно обеспечить посредством использования преобразующих механизмов, обладающих принципиально новой структурой с минимально возможным числом подвижных звеньев. Техническими объектами, соответствующими представленным требованиям, являются механизмы с замкнутой системой тел качения (ЗСТК), обладающие требуемыми свойствами и передаточными отношениями. Механизмы с ЗСТК обладают структурой, которая образована двумя кольцами с дорожками качения, сепаратором (водило) и замкнутой системой тел качения с диаметрами равной или разной величины. Тела качения могут обладать гладкими рабочими поверхностями (фрикционные) [1, 3-12] или поверхностями с выступами (зубчатые) [2]. Механизмы рассматриваемого вида являются представителями эпициклических механизмов, следовательно, обладают тремя видами передаточного отношения: прямое, обратное и внутреннее. В зависимости от сочетания подвижных и неподвижных звеньев, механизмы с ЗСТК являются либо планетарными, либо дифференциальными.

Коллектив авторов проводит исследования геометрических, кинематических и силовых параметров приводов технологического оборудования, разработанных на базе механизмов с ЗСТК с диаметрами разной (эксцентриковые) [1, 2, 8, 11, 12] или равной (соосные) [3-7, 9, 10] величины. В ходе исследований установлено: структуры механизмов данного вида содержат замкнутые системы тел качения, следовательно, задача определения номинальных значений геометрических параметров механизмов должна решаться при начальных условиях, что исходные параметры являются постоянными величинами больше нуля при наличии или отсутствии зазора между телами качения [1, 7, 10, 12]. Однако, дальнейшие исследования показали, что для решения задачи по определению номинальных величин геометрических параметров при данных условиях необходим ввод поправки в расчет, считая один из исходных параметров величиной переменной. Вариация значений радиуса тел качения и зазора не позволяет достичь требуемого результата. В этом случае получаем, что решение задачи имеет два возможных направления ввода поправки, либо по радиусу дорожки качения наружного кольца, либо по радиусу дорожки качения внутреннего кольца. Это обстоятельство необходимо учитывать также при определении передаточных отношений механизмов данного вида. В работах [3-5, 9] авторами предложен алгоритм решения поставленной задачи как при ведущем внутреннем, так и наружном кольце для обоих направлений ввода поправки в расчет определения номинальных величин геометрических параметров. Однако особенности геометрии [12] механизмов данного вида

дают возможность формировать замкнутую систему тел качения, расположенных с зазором, что приводит к изменению геометрических параметров, следовательно, может оказывать влияние на передаточные отношения механизма с ЗСТК.

С целью более детального выявления свойств механизмов рассмотрим влияние зазора на их передаточные отношения при формировании замкнутой системы телами качения с диаметрами равной величины для обоих направлений ввода поправки в расчет номинальных значений геометрических параметров для любого вида симметричной структурной схемы.

Настоящее исследование проводится с целью совершенствования алгоритма определения передаточных отношений механизмов с замкнутой системой тел качения с диаметрами равной величины для любого вида симметричной структурной схемы при ведущем внутреннем кольце для обоих направлений ввода поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров. Полученные результаты позволят формировать привода технологического оборудования на базе механизмов с ЗСТК, обладающих требуемыми свойствами и передаточными отношениями.

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

Рассмотрим ход решения поставленной задачи на примере влияния зазора на передаточные отношения планетарного механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины для обоих направлений ввода поправки. При решении считаем, что ведущим является внутреннее кольцо (В), наружное кольцо (Н) соответствует неподвижному звену и в качестве выходного звена выступает сепаратор (S), а также движение звеньев совершается без скольжения (проскальзывания).

В соответствии с работами [4, 5], передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при ведущем внутреннем кольце и наличии зазора определяются по формулам

- *прямое передаточное отношение*

$$i_{BS}^H = 1 + \frac{R_H}{R_B} = 1 + \frac{\left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}, \quad (1)$$

- *обратное передаточное отношение*

$$i_{SB}^H = \frac{1}{i_{BS}^H} = \frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_B}} = \frac{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right) + \left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}, \quad (2)$$

- внутреннее передаточное отношение

$$i_{\text{BH}}^S = -\frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{B}}} = -\frac{\left(1 + \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)\right) - c}{1 - \sin\left(\frac{\pi}{z}\right)}, \quad (3)$$

где R_{B} и R_{H} – радиусы дорожек качения внутреннего и наружного колец; c – зазор между телами качения; z – число тел качения.

Варьируя числом тел качения в диапазоне от 0 до 100 и величиной зазора между телами качения в интервале от 4 до 10 мм, а также значений радиусов дорожек качения обоих колец 55 и 100 мм, по выражениям (1)-(3) рассчитываем передаточные отношения планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины. С целью повышения эффективности процесса вычислений авторами разработано программное обеспечение в виде программного комплекса «Эксцентрик», зарегистрированного в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности Российской Федерации (РОСПАТЕНТ № 2012614197).

По результатам полученных вычислений выполняем синтез диаграмм передаточных отношений при вариации величины зазора 4–10 мм при вводе поправки по радиусам дорожек качения наружного (рис. 1) и внутреннего (рис. 2) колец.

Анализ диаграммы (рис. 1) показывает, что при вводе поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров по радиусу дорожки качения наружного кольца рост зазора между телами качения приводит к незначительному уменьшению максимальных значений прямого передаточного отношения и к существенному сокращению числа тел качения. При вводе поправки в расчет номинальных величин геометрических параметров по радиусу дорожки качения внутреннего кольца (рис. 2) увеличение зазора между телами качения вызывает незначительный рост максимальных значений прямого передаточного отношения, однако в более узком диапазоне значений, а так же, как и в предшествующем случае, приводит к сокращению числа тел качения. Колебания количества тел качения и максимальных значений передаточных отношений соответствуют границам областей существования механизмов данного вида для обоих направлений ввода поправки [6, 11].

Характер изменения максимальных значений для внутренних передаточных отношений, независимо от величины зазора между телами качения и направления ввода поправки, аналогичен выявленным изменениям прямого передаточного отношения механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины для любого вида симметричной структурной схемы. Изменение величины зазора независимо от направления ввода поправки, практически не оказывают влияния на значения обратных передаточных отношений.

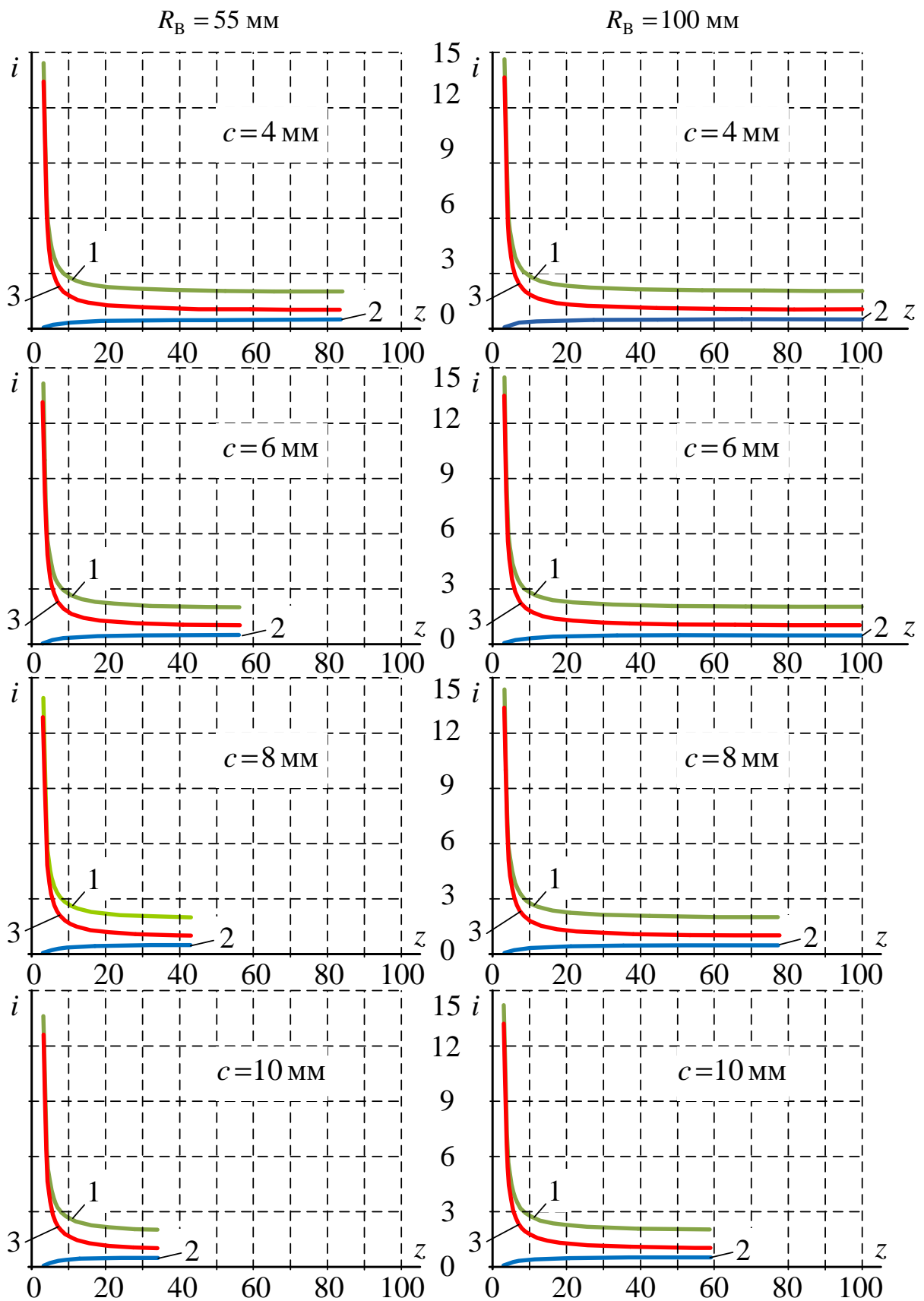


Рис. 1. Диаграммы передаточных отношений механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины при вводе поправки по дорожке качения наружного кольца и вариации

величины зазора: 1 – i_{BS}^H ; 2 – i_{SB}^H ; 3 – i_{BH}^S

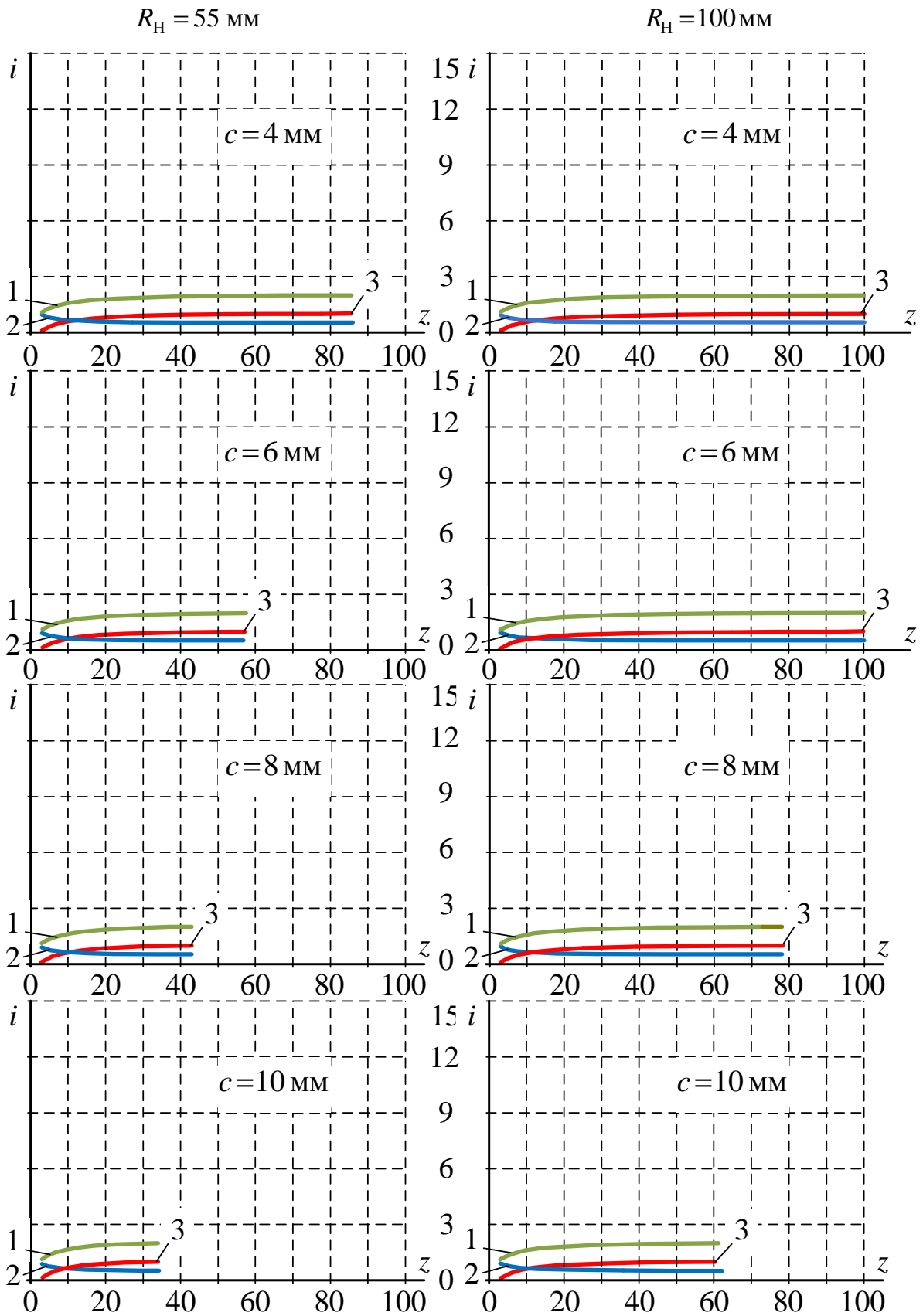


Рис. 2. Диаграммы передаточных отношений механизма с ЗСТК с диаметрами равной величины при вводе поправки по дорожке качения внутреннего кольца при вариации

величины зазора: 1 – i_{BS}^H ; 2 – i_{SB}^H ; 3 – i_{BH}^S

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 для обоих направлений ввода поправки. Установлен характер влияния зазора между телами качения на передаточные отношения механизмов данного вида. Это позволяет формировать привода технологического оборудования на базе планетарных механизмов с ЗСТК, обладающих требуемыми свойствами и передаточными отношениями.

Список литературы

1. Мерко М.А. Кинематические и геометрические характеристики эксцентрикового механизма качения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.02. Красноярск, 2002. 26 с.
2. Мерко М.А., Беляков Е.В., Колотов А.В., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Повышение качества обработки плоских поверхностей шлифовальной машиной с эксцентриковым эпициклическим механизмом // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2013. Т.3. № 1. С. 15-19.
3. Мерко М.А., Колотов А.В., Меснянкин М.В., Митяев А.Е., Кайзер Ю.Ф., Лысянников А.В., Лысянникова Н.Н., Кузнецов А.В., Литвинов П.С., Белякова С.А. Передаточные отношения планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при ведущем наружном кольце и вводе поправки по радиусу дорожки качения этого же звена // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: www.science-education.ru/121-17100.
4. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Кайзер Ю.Ф., Колотов А.В., Митяев А.Е., Лысянников А.В., Кузнецов А.В. Передаточные отношения планетарных механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки по радиусу дорожки качения этого же звена // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1; URL: www.science-education.ru/115-12219.
5. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Колотов А.В. Передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем внутреннем кольце и вводе поправки по дорожке качения наружного кольца // Молодой ученый. 2013. № 6. С. 71-75.
6. 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.
7. 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.

8. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Описание математической модели механизма-прототипа ЭМК с сепаратором (водило) при ведущем внутреннем кольце // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 71-75.

9. Мерко М.А., Меснянкин М.В., Митяев А.Е. Передаточные отношения механизмов с ЗСТК с диаметрами равной величины и зазором при ведущем наружном кольце и вводе поправки по дорожке качения внутреннего кольца // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 6. С.63-68.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

Рецензенты:

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

Носков М.В., д.ф.-м.н., профессор, профессор-наставник, руководитель НУЛ методики электронного обучения кафедры ПМиКБ, Институт космических и информационных технологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.