

УДК 621.83.06

А. В. КАПИТОНОВ, канд. техн. наук, доц.

А. Ш. КУРБАНАЗАРОВ

В. С. ДРОЗДОВ

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ ПУТЕМ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИЙ БЕГОВЫХ ДОРОЖЕК

Аннотация

В статье рассмотрены методы повышения КПД планетарных передач с промежуточными телами качения путем выбора конструкций беговых дорожек, замкнутых на плоскости, обеспечивающих уменьшение потерь мощности. Разработаны компьютерные твердотельные 3D модели вращения передачи с заданной угловой скоростью на входном валу и приложенным моментом на выходном звене. Проведено моделирование передачи с профилем многопериодной дорожки приближенным к эталонному в виде дуг окружностей и профилем, построенным эквидистантно кривой, выполненной по уравнению смещенной окружности.

Ключевые слова:

передачи с промежуточными телами качения, многопериодные беговые дорожки, КПД передачи.

Планетарные шариковые и роликовые передачи с промежуточными телами качения торцового типа [1–3] используются в различных механизмах машиностроительного производства, например, в технологической оснастке, автоматизированных транспортных и подъемных механизмах, мехатронных устройствах. Конструктивно можно повысить КПД этих передач следующими способами:

– одна из двух беговых дорожек выбирается однопериодной, т.е. $z_1 = 1$, при этом уменьшаются скорости и ускорения сателлитов соответственно в z_1 и z_1^2 раз;

– осевая кривая однопериодной дорожки с $z_1 = 1$ выполняется по уравнению окружности со смещением центра на величину амплитуды A многопериодной кривой второй беговой дорожки, при этом однопериодная дорожка выполняется в виде эксцентрика, на который устанавливается подшипник качения и таким образом устраняется скольжение сателлитов;

– однопериодная дорожка принимается ведущим звеном, при этом два других звена будут иметь меньшие скорости скольжения.

Предложенные рекомендации больше подходят для планетарных передач, построенных по шестой кинематической схеме [1–3].

При проектировании многопериодных беговых дорожек часто используют простые геометрические поверхности. Они наиболее технологичны. Однако, беговые дорожки, спроектированные и изготовленные на основе этих поверхностей, имеют геометрические неточности. Их профиль отличается от профиля дорожек, полученных по уравнениям кривых: смещенной окружности, синусо-

иды и циклоиды, принимаемый за эталонный.

На рис. 1 показана кривая 1, построенная по уравнению смещенной окружности, и являющаяся номинальной осью, по которой должен перемещаться центр сателлита-шарика, воспроизводя закон движения.

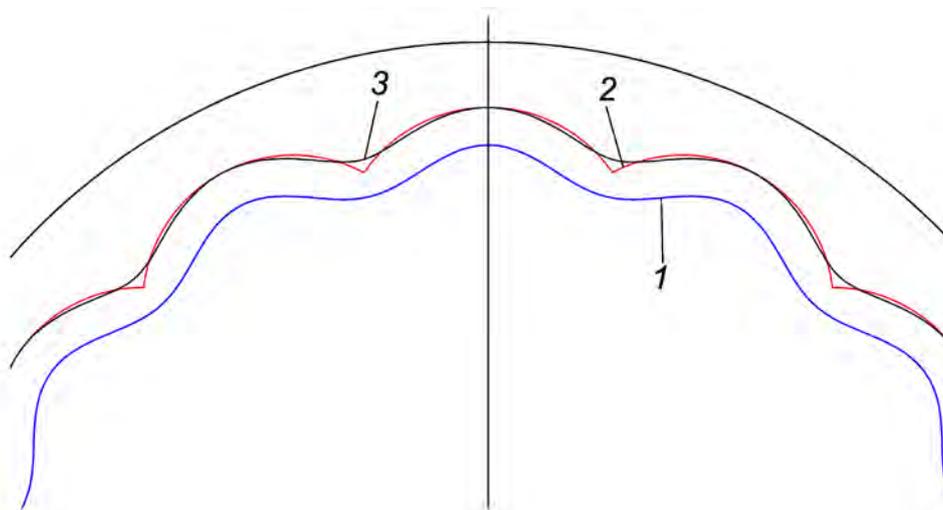


Рис. 1. Схема профилей многопериодных беговых дорожек

Эквидистантная кривая 2, являющаяся профилем поверхности по которой катятся сателлиты-шарики, построена по окружностям, приближенным к эквидистанте 3 кривой 1. Как видно из рис. 1, кривая 2 не совпадает с кривой 3, т.е. имеет геометрические неточности, которые могут быть соизмеримы с погрешностями изготовления. Неточный профиль кривой 2 изменяет углы подъема многопериодной беговой дорожки, что приводит к снижению КПД и кинематической точности передачи.

Проведена оценка КПД передачи, построенной по шестой кинематической схеме, с передаточным отношением $i = 14$ с учетом потерь мощности на заторможенном звене при контакте сателлитов-шариков с многопериодной беговой дорожкой методами компьютерного моделирования с использованием программного обеспечения SolidWorks Motion и ранее разработанных методов моделирования [4, 5]. Разработаны компьютерные твердотельные 3D-модели вращения передачи с заданной угловой скоростью на входном валу и приложенным моментом на выходном звене. Первая модель имеет профиль многопериодной дорожки, приближенный к эталонному, в виде дуг окружностей, радиусы которых равны двум диаметрам сателлита-шарика. Вторая модель имеет профиль многопериодной дорожки, построенный эквидистантно кривой, выполненной по уравнению смещенной окружности с числом периодов z_2

$$\rho_2 = \sqrt{R^2 - A^2 \sin^2 z_2 \varphi} + A \cos z_2 \varphi, \quad (1)$$

где ρ_2 – радиус-вектор точки многопериодной кривой, мм; A – амплитуда кривой, мм; R – радиус средней окружности, проходящей между вершинами и впадинами кривой, мм; z_2 – число периодов кривой; φ – полярный угол, рад.

Были заданы следующие параметры для моделей: средний радиус беговой дорожки, $R = 109$ мм; амплитуда беговой дорожки, $A = 4$ мм; число периодов однопериодной дорожки, $z_1 = 1$; многопериодной – $z_2 = 13$; диаметр сателлита-шарика, 15,95 мм; частота вращения двигателя, $n_d = 100$ об/мин; момент на оси водила-сепаратора (выходного звена передачи), $M_{вых} = 20\,000$ Нмм; время вращения (равняется одному обороту выходного звена) – 8,4 с (при частоте вращения входного вала 100 об/мин и передаточном отношении передачи $i = 14$). Контакт задавался только между сателлитами-шариками и поверхностью многопериодной беговой дорожки.

На рис. 2 показано окно программы SolidWorks Motion с разработанной второй компьютерной моделью планетарной шариковой передачи и установленными настройками вращающегося двигателя на входном валу, контакта сателлитов с беговыми дорожками, момента на выходном звене.

По результатам моделирования получены значения момента на входном звене и проведены расчеты КПД передачи с учетом потерь только на заторможенном звене при контакте сателлитов-шариков с многопериодными беговыми дорожками с использованием программы Excel. При этом получены графики, характеризующие КПД передачи за оборот выходного звена. На рис. 3 представлен график КПД передачи при потерях мощности на заторможенном звене первой модели, а на рис. 4 – второй модели.

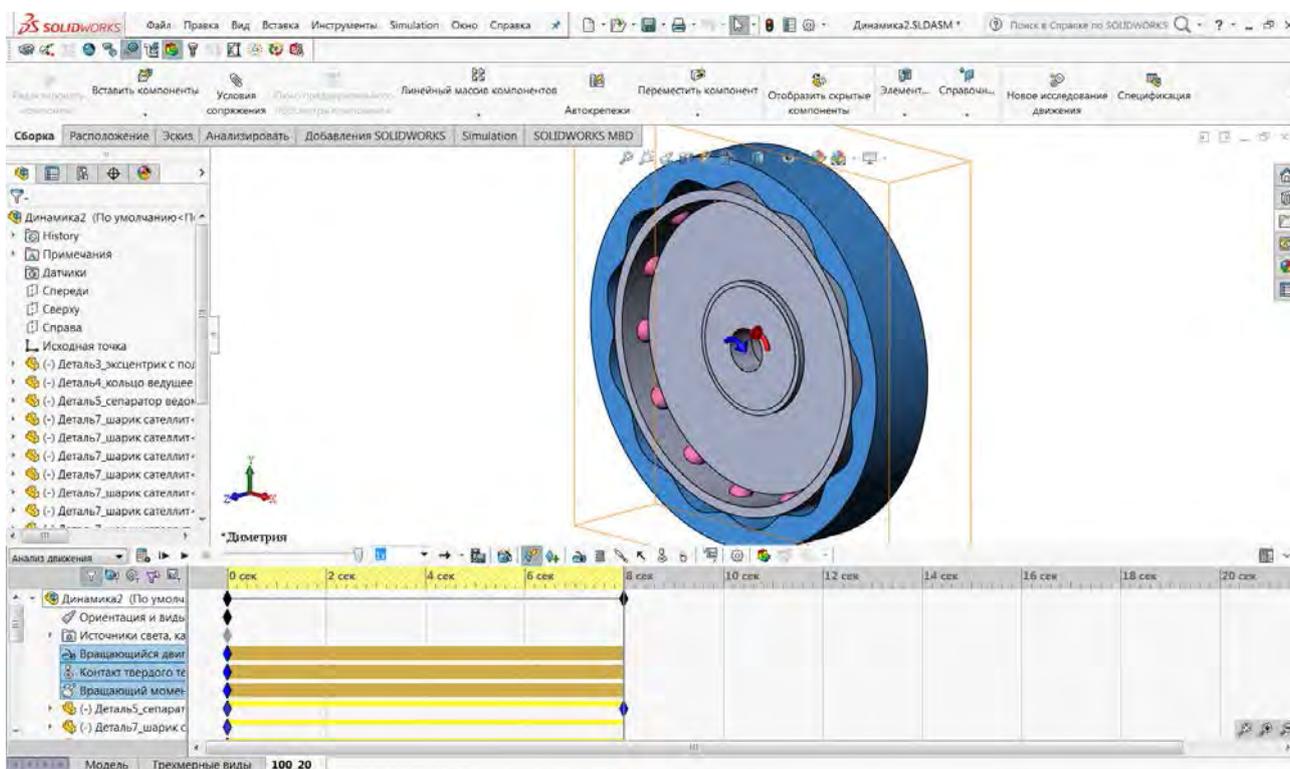


Рис. 2. Окно программы SolidWorks Motion с компьютерной моделью планетарной шариковой передачи

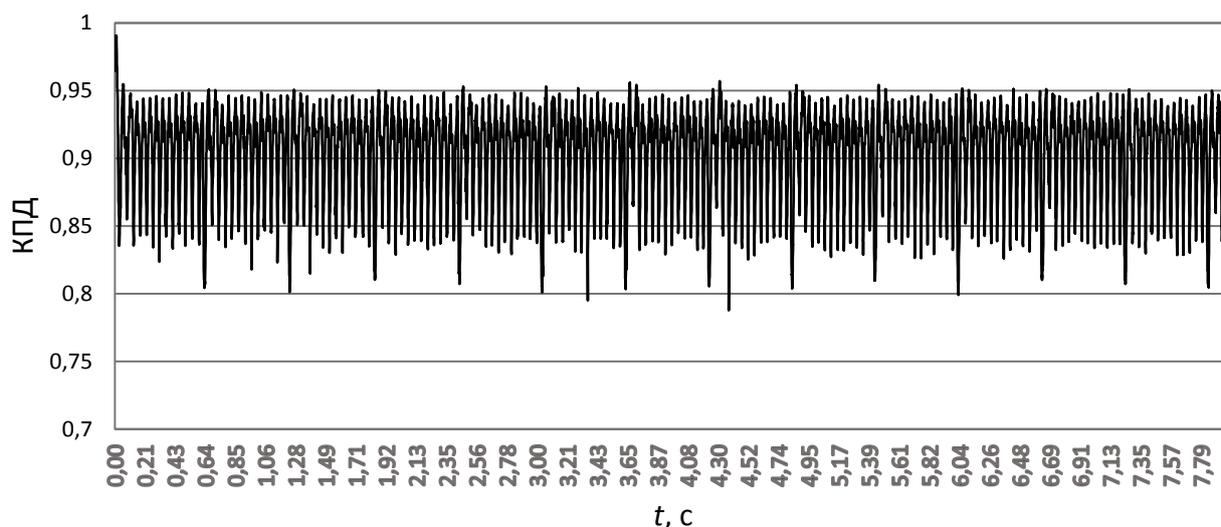


Рис. 3. График КПД передачи при потерях мощности на заторможенном звене первой модели с профилем многопериодной дорожки в виде дуг окружностей

Среднее значение КПД передачи при потерях мощности на заторможенном звене первой модели составило 0,9 (см. рис. 3), второй модели 0,98 (см. рис.4). Видно, что на КПД оказывает значительное влияние геометрия профиля многопериодной дорожки. Несовпадение профиля дорожки с более простой геометрией в виде дуг окружностей с профилем дорожки, построенным по уравнению (1) и принятым за эталонный, в точках контакта, передающих нагрузку для данной модели, составило 0,82 мм, что привело к значительному уменьшению КПД от потерь на заторможенном звене. С уменьшением геометрических неточностей упрощенных профилей дорожек по отношению к эталонным, построенным по уравнениям кривых, КПД передачи повышается.

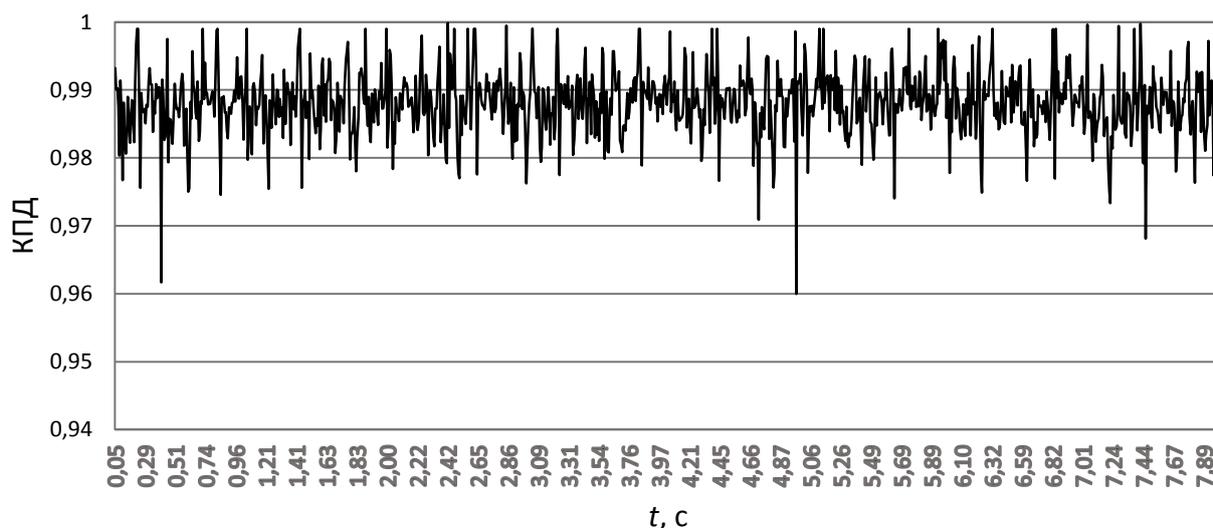


Рис. 4. График КПД передачи при потерях мощности на заторможенном звене второй модели

В результате моделирования в SolidWorks Motion также установлено, что

сателлиты-шарики катятся со скольжением. Это подтверждает график движения сателлита (рис. 5), полученный при оценке результатов моделирования.

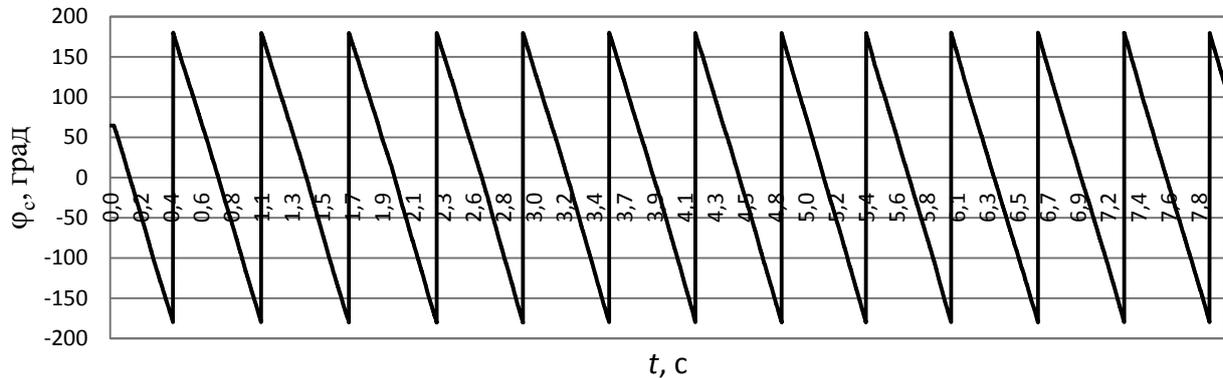


Рис. 5. График движения сателлита

На графике (см. рис. 5) представлено перемещение сателлита-шарика, движущегося по многопериодной беговой дорожке. График показывает, что сателлит перемещается по 13 периодам беговой дорожки (наклонные линии на графике) и поворачивается в каждом периоде на угол 359,87 градуса, т. е. совершает почти полный оборот. Так как длина окружности сателлита-шарика ($l_{ш} = 50,108$ мм) меньше длины профиля периода дорожки ($l_{д} = 59,411$ мм), построенного на основе уравнения (1), то сателлит катится с некоторым проскальзыванием. Чем больше разность между $l_{ш}$ и $l_{д}$, и меньше угол поворота сателлита, тем больше будет скольжение сателлитов по многопериодной дорожке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированное проектирование конструкций малогабаритных радиально-плунжерных редукторов с использованием современных САПР / А. В. Капитонов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 3 (48). – С. 25–32.
2. Капитонов, А. В. Исследование кинематической точности планетарных роликовых передач методами гармонического анализа и контроля в сборе / А. В. Капитонов, С. Г. Черняков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4 (33). – С. 40–50.
3. Капитонов, А. В. Планетарная радиально-плунжерная передача с улучшенными эксплуатационными характеристиками / А. В. Капитонов, К. В. Сасковец, А. И. Касьянов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2017. – № 3 (56). – С. 27–34.
4. Капитонов, А. В. Математическое моделирование кинематических погрешностей планетарных роликовых передач / А. В. Капитонов // Вест. Могил. гос. техн. ун-та. – 2003. – № 2 (5). – С. 44–48.
5. Капитонов, А. В. Кинематические и массогабаритные характеристики ресурсоэффективных механических передач. Компьютерное моделирование, экспериментальная оценка: монография / А. В. Капитонов, В. М. Пашкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 248 с.

Контакты:

kavbru@gmail.com (Капитонов Александр Валентинович);
 kurbannazarov@mail.ru (Курбанназаров Абдыресул Шохратович);
 drozdov@mail.ru (Дроздов Владислав Сергеевич)