

Анализ кинематических характеристик карданных передач

И.Д. Федоренко

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. Согласно литературным данным [1–4], карданные передачи — неотъемлемая часть современных механизмов, обеспечивающих передачу вращающего момента между валами, расположенными под углом друг к другу. Их использование широко распространено в автомобилестроении, машиностроении, авиации, судостроении, робототехнике и других отраслях.

Цель — проанализировать кинематические характеристики карданных передач и исследовать влияние параметров конструкции на их кинематическое поведение.

Методы. Аналитическое моделирование карданной передачи:

- создание математической модели карданной передачи, описывающей ее геометрию и кинематику;
- применение уравнений движения для определения угловых скоростей и ускорений входного и выходного валов;
- анализ влияния различных параметров: угол наклона карданного вала, длина вала, скорость вращения.

Результаты. Проведенный анализ кинематических характеристик карданных передач показал, что угловая скорость ведомого вала не является постоянной величиной, а изменяется циклически за один оборот ведущего вала. Угловое ускорение ведомого вала также демонстрирует циклический характер изменения с частотой, вдвое превышающей частоту вращения ведущего вала. Амплитуда колебаний углового ускорения увеличивается с ростом угла наклона карданной передачи.

Карданная передача — это механизм передачи механической энергии между несоосными валами. Главное преимущество карданной передачи заключается в том, что при вращении первого вала угол карданного соединения изменяется, позволяя передавать вращение на второй вал с сохранением постоянной скорости вращения.

Основные компоненты карданной передачи включают два шарнира и центральную трубу. Первый шарнир соединяет два вала, а второй шарнир — центральную трубу с одним из валов.

Карданные передачи могут иметь некоторые недостатки, такие как небольшие углы вращения и дополнительные потери энергии из-за трения в шарнирах.

Пример исследования изменения угловой скорости и углового ускорения ведомого вала при различных значениях угла излома

Рассмотрим кинематику кардана с крестовиной, у которого оси цапф пересекаются в одном центре.

При заданном положении ведущего звена (рис. 1), определяемом углом α , положение ведомого звена определяется формулой:

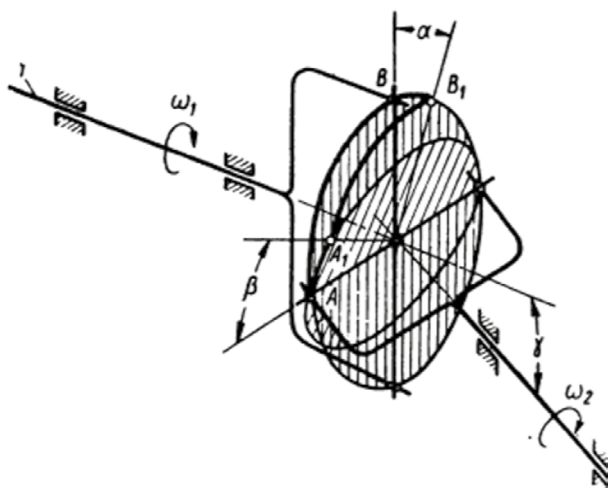


Рис. 1. Схема кардана с крестовиной

$$\beta = \arctan\left(\frac{\tan\alpha}{\cos\gamma}\right).$$

Дифференцируя данное соотношение по времени, получаем:

$$\omega_2 = \frac{(1 + \tan^2\alpha)\cos\gamma}{(\cos^2\gamma + \tan^2\alpha)} \cdot \omega_1.$$

Для представления, как изменяется угловая скорость ведомого вала ω_2 в зависимости от угла α поворота ведущего вала при различных значениях угла наклона валов, изображен график, построенный для углов γ , равных 5° ($\pi/36$), 10° ($\pi/18$), 15° ($\pi/12$) и 20° ($\pi/9$). Угловая скорость ведущего вала $\omega_1 = \pi 30$.

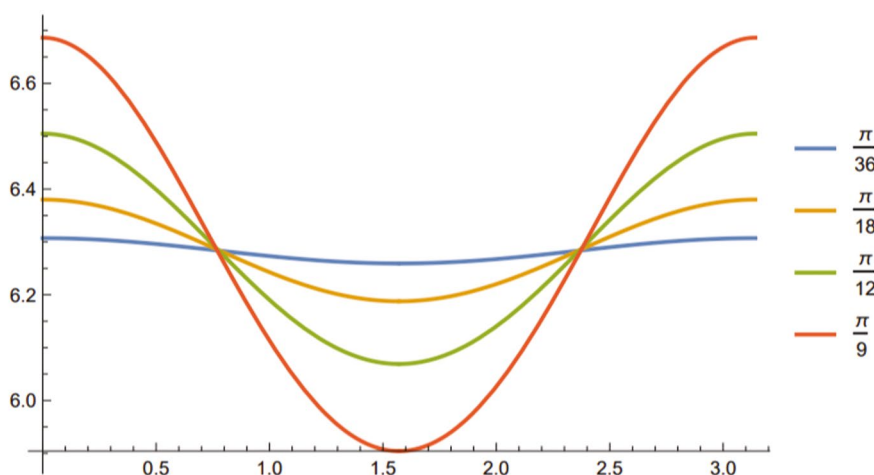


Рис. 2. График изменения скорости при различных углах наклона

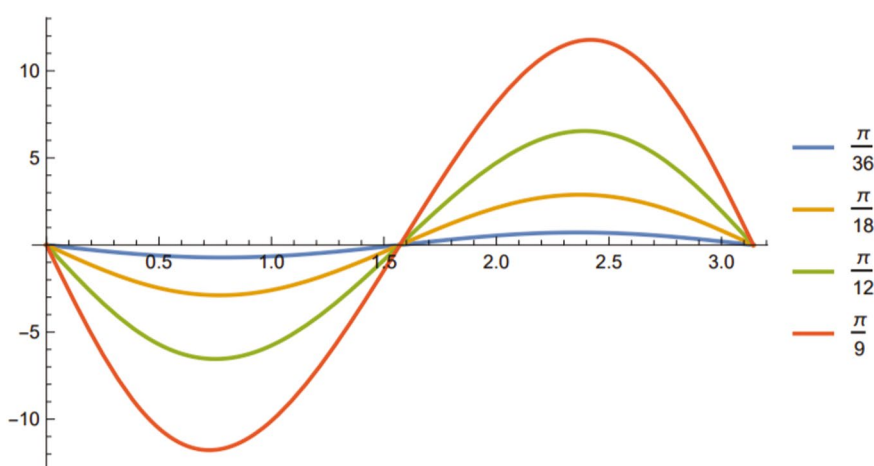


Рис. 3. График изменения ускорения при различных углах наклона

Вывод 1. При небольших углах наклона ($5\text{--}10^\circ$) отклонение угловой скорости ведомого вала от номинального значения незначительно и практически не заметно. Однако с увеличением угла наклона ($15\text{--}20^\circ$) изменение угловой скорости ведомого вала становится более выраженным. Наблюдается периодическое изменение угловой скорости, обусловленное неравномерным вращением карданного вала (рис. 2).

Тогда угловое ускорение ведомого вала:

$$\varepsilon_2 = -\frac{2\omega_1 \cdot \cos(\gamma) \sec(\alpha)^2 \sin(\gamma)^2 \tan(\alpha)}{(\cos(\gamma)^2 + \tan(\alpha)^2)^2}.$$

Результат представлен на графике (рис. 3).

Вывод 2. При малых углах наклона ($5\text{--}10^\circ$) угловое ускорение ведомого вала относительно стабильно. С увеличением угла наклона ($15\text{--}20^\circ$) угловое ускорение ведомого вала значительно возрастает, особенно в моменты максимального отклонения карданного вала (см. рис. 3). Это приводит к возникновению вибраций и повышенной нагрузке на механизмы.

Ключевые слова: карданные передачи; анализ кинематических характеристик карданных передач; асинхронные карданы; кардан с крестовиной; кинематика карданов.

Список литературы

1. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. Ч. 1. Москва, 1954. 379 с.
2. Малаховский Я.Э., Лапин А.А., Веденеев Н.К. Карданные передачи. Москва, 1962. 155 с.

3. Патент РФ № 141878/ 20.06.14, Бюл. № 17. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т. Карданный шарнир.
4. Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Сравнительный анализ конструкций карданных шарниров неравных угловых скоростей // Вестник СибГАУ. 2015. Т. 16, № 3. С. 720–728. EDN: TANPTI

Сведения об авторе:

Игорь Дмитриевич Федоренко — студент, группа 23-ФПГС-108, факультет промышленного и гражданского строительства; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: Igor.Fedorenko001@gmail.com

Сведения о научном руководителе:

Елена Николаевна Элекина — старший преподаватель кафедры «Строительная механика, инженерная геология, основания и фундаменты»; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: smsm@samgtu.ru