

УДК 621.83

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ  
КОНТАКТИРУЮЩИХ ЗУБЬЕВ КОЛЕС НА МГНОВЕННОЕ  
ПЕРЕДАТОЧНОЕ ОТНОШЕНИЕ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Задача улучшения эксплуатационных показателей зубчатых передач в настоящее время не теряет своей актуальности. Это связано с постоянным развитием технологии металлообработки, в т. ч. зубообработки, с появлением аддитивных технологий получения деталей, а также с определенным потенциалом совершенствования методики синтеза зубчатых передач. По эффективности улучшения эксплуатационных показателей зубчатых передач совершенствование методики их синтеза занимает отнюдь не последнее место.

В настоящее время известно множество различных методик синтеза зубчатых передач. Одной из них является методика, созданная в научной школе под руководством Коростелева Л. В. [1, 2]. По этой методике синтезируются зубчатые передачи с передаточным отношением, нечувствительным к погрешностям монтажа. Коростелевым Л. В. и его последователями были получены уравнения, описывающие зубчатые поверхности колес с осью  $z$ , обеспечивающие указанное свойство передачи:

$$z = f(x, y) = \pm A \cdot \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + \frac{1}{C} \cdot \sqrt{(x^2 + y^2) \cdot (A^2 - C^2) - A^2 \cdot C^2} - \\ - A \cdot \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(x^2 + y^2) \cdot (A^2 - C^2) - A^2 \cdot C^2}}{A \cdot C} + B, \quad (1)$$

где

$$C = \frac{x \cdot \frac{\partial z}{\partial y} - y \cdot \frac{\partial z}{\partial x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial A} = 0 \quad (3)$$

$$B = \omega(A). \quad (4)$$

Последняя функция произвольная и непрерывная.

Уравнения (1–4) определяют целое семейство зубчатых поверхностей.

Частными случаями являются эвольвентные цилиндрическая и винтовая зубчатые поверхности. Эти зубчатые поверхности технологичны и поэтому завоевали обширную нишу. Другие зубчатые поверхности, определяемые уравнениями (1–4), характеризуются весьма низкой технологичностью и не нашли широкого применения.

Зубчатые поверхности, описываемые уравнениями (1–4), не могут обеспечить постоянство передаточного отношения в случае погрешности формообразования. Для таких технологичных поверхностей, как эвольвентные, эти погрешности могут быть сведены практически к нулю.

Использование эвольвентных зубчатых поверхностей не всегда возможно. Примером являются эксцентриковые передачи. В этих передачах внутреннее зацепление колес характеризуется разницей чисел зубьев, равной 1, что реализовать на основе эвольвентных зубчатых поверхностей чаще всего проблематично. Поэтому в эксцентриковых передачах применяются другие зубчатые поверхности. Примером являются цевочные передачи.

Одной из разновидностей эксцентриковых передач является также прецессионная передача (рис. 1), которая имеет определенные конструктивные преимущества по сравнению с цевочной передачей при реализации схемы К-Н-V.

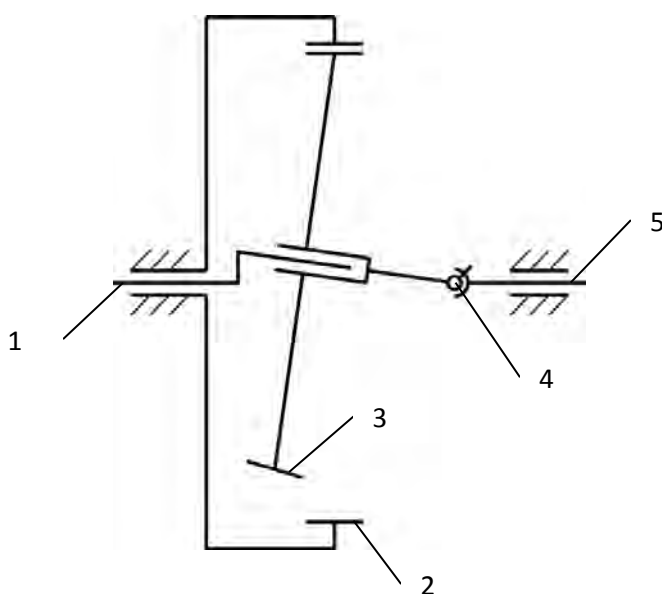


Рис. 1. Кинематическая схема прецессионной передачи типа К-Н-V: 1 – входное звено; 2 – центральное колесо; 3 – сателлит; 4 – угловая муфта; 5 – выходное звено

Как было сказано выше, реализовать зубчатую поверхность, описываемую уравнениями (1–4), в данном случае проблематично. Поэтому было предложено использовать такую технологичную зубчатую поверхность,

для которой значение мгновенного передаточного отношения для различных моментов времени зацепления изменяется в некотором малом диапазоне. Данная поверхность с уравнением  $y = y(x, z)$  и с осью  $z$  удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению [3]:

$$\frac{-x - y \cdot \frac{\partial y}{\partial x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)^2}} = M(x, y, z), \quad (5)$$

где  $M$  – это момент единичной нормали к зубчатой поверхности относительно оси  $z$ .

Уравнения (1–4) получены при  $M = \text{const}$ . Функция  $M(x, y, z)$  может учитывать геометрию зуба, погрешности формообразования, упругие деформации и др. факторы, оказывающие влияние на мгновенное передаточное отношение, и должна изменяться в пределах зубчатой поверхности в заданном малом диапазоне.

Исследование зависимости мгновенного передаточного отношения прецессионной передачи от погрешности формообразования зубьев колес и от упругих деформаций в зоне контакта представлено ниже. На рис. 2 приведены модели зуба сателлита прецессионной передачи с различными погрешностями формообразования. На рис. 3 представлена конечно-элементная модель однопарного зацепления прецессионной передачи, созданная при помощи САПР Siemens NX.

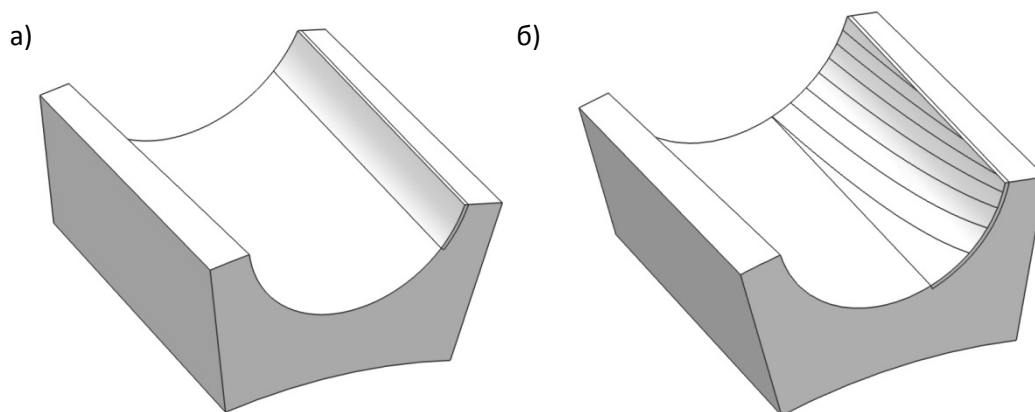


Рис. 2. Модели зуба сателлита прецессионной передачи: а – теоретически точная поверхность зуба сателлита; б – приближенная поверхность зуба сателлита

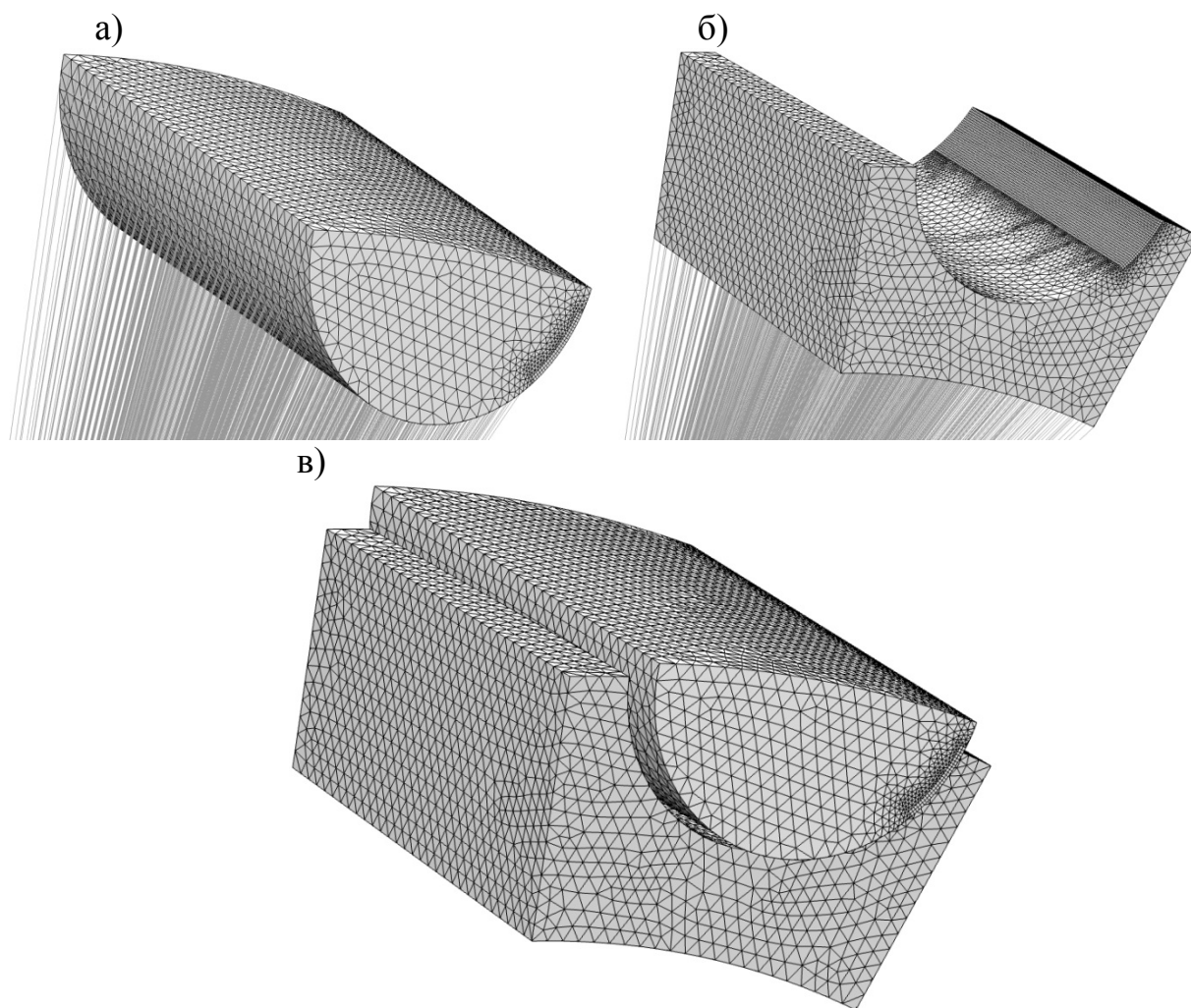


Рис. 3. Конечно-элементная модель однопарного зацепления прецессионной передачи: а – зуб центрального колеса; б – зуб сателлита; в – зацепление

При помощи средств компьютерного моделирования в среде САПР Siemens NX был рассчитан момент  $M_1$  пары сил, приложенной к центральному колесу с количеством зубьев 16 в качестве реакции связи от воздействия активного момента 100000 Н·мм пары сил, приложенной к сателлиту с количеством зубьев 15. Значения реактивного момента  $M_1$  в зависимости от угла поворота сателлита  $\varphi_1$  приведены на рис. 4.

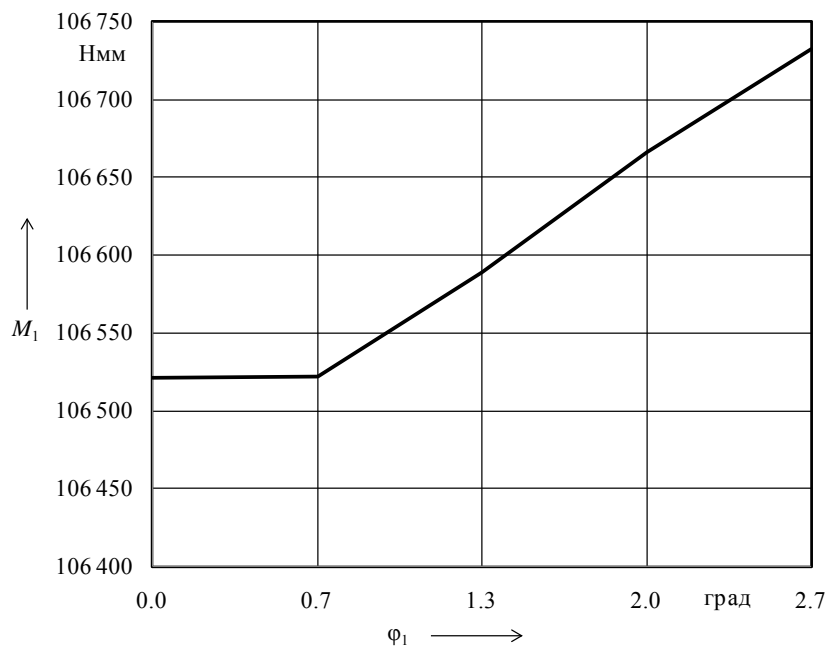


Рис. 4. Зависимость реактивного момента от угла поворота сателлита

Таким образом, мгновенное передаточное отношение в различные моменты времени зацепления с учетом упругих деформаций и погрешности формообразования зубьев изменялось в диапазоне от 15,3 до 14,9. Подбирая точность формообразования зубьев сателлита, можно добиться приемлемых значений диапазона мгновенных передаточных отношений, обеспечивающих низкие динамические нагрузки на выходном валу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коростелев, Л. В.** Образование зубчатых передач с переменным расположением осей колес / Л. В. Коростелев // *Машиноведение*. – 1972. – № 4. – С. 46–49.
2. **Ясько, В. В.** Синтез зубчатых зацеплений, нечувствительных к погрешностям монтажа / В. В. Ясько // *Изв. высш. учеб. заведений*. – 1968. – № 8. – С. 21–24.
3. **Хатетовский, С. Н.** Обеспечение нечувствительности зацепления поверхностей к изменению их относительного положения / С. Н. Хатетовский // *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та*. – 2010. – № 2. – С. 122–131.