

Рис. 3. Траектория движений схвата робота для обслуживания фрезерного станка с ЧПУ

#### Литература

1. Lebedev, A. V. Synthesis of Desirable Trajectories of Dynamic Objects Spatial Movement / A. V. Lebedev // Proc. of The 6th IASTED International Conf. Intelligent Systems and Control. Honolulu, Hawaii, USA, 2004. – P. 36–39.
2. Фу, К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М. : Мир, 1989. – 624 с.

### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ ЗУБЧАТО-ЭКЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНИЗМА

К. В. Лукьянчик, К. С. Теплова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель д-р техн. наук, проф. М. И. Михайлов

Причины появления кинематической погрешности передачи: накопленная погрешность  $F_p$  шага зубчатого колеса; погрешность профиля зубьев  $f_f$ ; отклонения расположения деталей, поддерживающих зубчатое колесо в передаче (рис. 1).

Основное влияние на кинематическую погрешность передачи оказывает отклонение оси венца зубчатого колеса от его рабочей оси (радиальное биение зубчатого венца) [1].

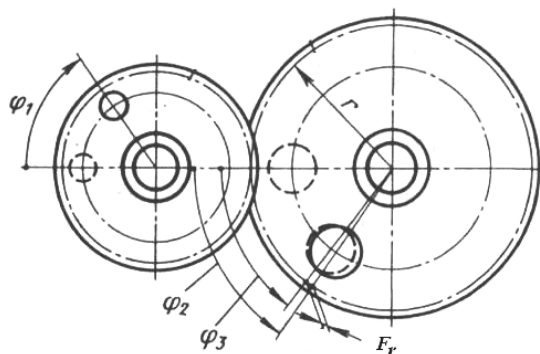


Рис. 1. Схема определения погрешности

На рис. 2, *a* дана схема зацепления двух колес. Если ось ведущего колеса смещена на расстояние  $F_r$ , то при вращении этого колеса вектор смещения  $F_r$  вращается относительно центра  $O_2$ . Наибольшее воздействие на ведомое колесо этот вектор оказывает в тот момент, когда он располагается параллельно линии зацепления  $N-N$ .

Рассмотрим два положения вектора смещения  $F_r$ . В положении 1 вектора  $F_r$  угол поворота ведомого колеса увеличивается, а в положении 2 – уменьшается. Кинематическая погрешность ведомого колеса в этом случае составляет  $2F_r/\cos\alpha$  (рис. 2, *б*). При положении вектора  $F_r$ , перпендикулярном к линии зацепления, его влияние на ведомое колесо равно нулю.

Таким образом, за один оборот ведущего колеса вектор смещения  $F_r$  оси вызывает вначале дополнительный поворот ( $+\Delta\varphi$ ) ведомого колеса с возрастанием от 0 до  $F_r/\cos\alpha$  и последующим уменьшением от  $F_r/\cos\alpha$  до 0, а затем отставание в повороте ( $-\Delta\varphi$ ) колеса от 0 до  $F_r/\cos\alpha$  и далее от  $F_r/\cos\alpha$  до 0.

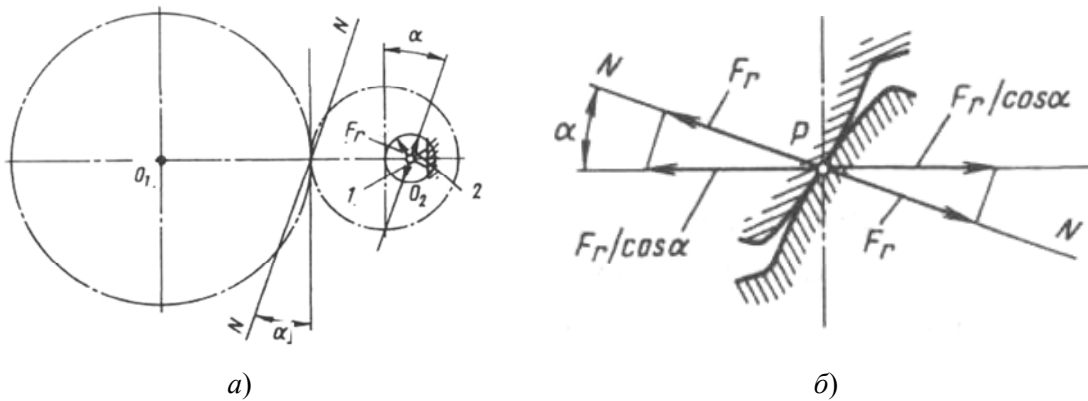


Рис. 2. Схема определения кинематической погрешности:  
*a* – схема зацепления двух колес; *б* – кинематическая погрешность ведомого колеса

Отклонение в расположении других деталей, поддерживающих зубчатые колеса в передаче, проявляются аналогично.

Проиллюстрируем изложенное на примере двухступенчатого зубчатого цилиндрического передаточного механизма, кинематическая схема которого изображена на рис. 3, *a*. Передаточное отношение его ступеней  $u_{II} = u_I = 2$ .

На рис. 3, *б* приведена кривая I изменения дополнительного угла поворота  $\Delta\varphi$  ведомого колеса 4 за один оборот. Там же показаны аналогичные кривые II, III для колес 3 и 2, которые за один оборот колеса 4 совершают два оборота ( $u_{II} = 2$ ). Если кинематическую погрешность выразить длиной дуги делительной окружности, влияние поворота колеса 2 на положение ведомого колеса 4 уменьшается пропорционально отношению чисел зубьев колес 2, 3, т. е. в  $Z_2/Z_3$  раз. Колесо 1 совершает уже четыре оборота ( $u_I = 2$ ) за каждый оборот ведомого колеса 4 (кривая IV).

Кинематические погрешности всех колес передачи имеют случайный характер и накладываются друг на друга (суммарная кривая V на рис. 3, *б*;  $F'_{i0r}$  – максимальная кинематическая погрешность механизма).

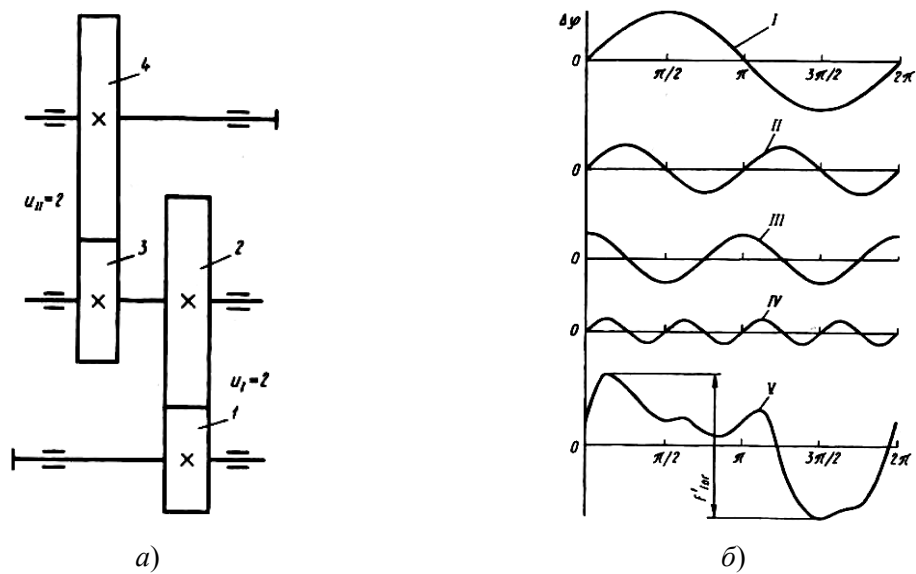


Рис. 3. Схема определения кинематической погрешности передачи:  
 а – кинематическая схема двухступенчатого зубчатого цилиндрического механизма; б – кривая изменения дополнительного угла поворота

На рис. 4 изображена 3D-модель зубчато-эксцентрикового механизма.

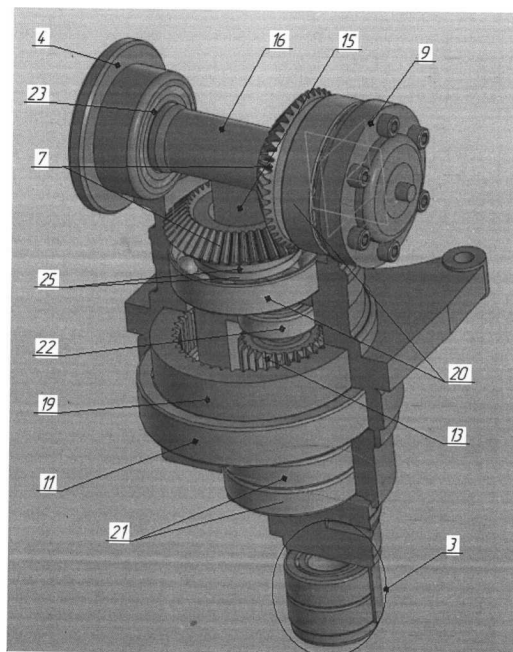


Рис. 4. 3D-модель зубчато-эксцентрикового механизма

Первичные погрешности предварительно рассматривать по отдельным узлам передачи (водителю, блоку сателлита, вращающему центральному колесу и неподвижному центральному колесу), а затем определять суммарные значения.

Кинематическая погрешность планетарной передачи механизма:

$$F_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,8 t_{\Sigma\Pi}}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,071}{\cos 20^{\circ}} = 0,121 \text{ мм},$$

где 0,8 – эмпирический коэффициент, учитывающий уменьшение кинематической погрешности в передаче.

Чтобы выразить кинематическую погрешность в угловых секундах, используют формулу

$$F_{\Pi}'' = F_{\Pi} \cdot 412,5 \cdot 10^3 / d_{\text{в.к}} = 0,12 \cdot 412,5 \cdot 10^3 / 72 = 687,5'',$$

где  $d_{\text{в.к}}$  – диаметр делительной окружности выходного колеса, мм.

#### Литература

1. Михайлов, М. И. Математическое моделирование оборудования и инструментов / М. И. Михайлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 284 с.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА КОНЦА ПРОКАТКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ В ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА 150**

**М. А. Бовкало**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель канд. с.-х. наук, доц. И. В. Астапенко

Целью работы является минимизация получения «пузырчатой» окалины на поверхности катанки  $\varnothing 5,5$  мм из стали марок 80 К и 80 РМЛ.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- изучение причин получения «пузырчатой» окалины;
- аналитическое определение оптимальных режимов с помощью известных теоретических зависимостей и практики;
- прокатка опытной партии по новым режимам;
- анализ результатов, формирование выводов и предложений производству.

Важным показателем качества катанки является масса окалины на поверхности и способность ее к удалению различными методами. Это связано с уменьшением износа волок и расхода кислот при переработке катанки на сталепроволочном переделе производства [1].

Окалина, образующаяся на высокоуглеродистой катанке, состоит из трех структурных слоев, аналогичных тем, которые формируются на низкоуглеродистых марках стали и чистом железе:

- вюстит ( $\text{FeO}$ ) 80 %;
- магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 18 %;
- гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 2 % – по направлению от внутреннего до внешнего слоя.

Более низкие температуры катанки на виткообразователе ( $T_{\text{в/о}} \sim 850$  °С) способствуют формированию тонкой, плотной окалины без бластеров (т. е. пузыристой окалины), состоящей преимущественно из вюстита, приводящей к сокращению времени на травление.

Повышенные температуры укладки витков ( $T_{\text{в/о}} > 900$  °С) подходят для механического удаления окалины, т.к. образуется более толстый слой вюститной окалины