

УДК 515.2

**МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ**

Подкоритов А.Н., д.т.н.,

Ісмаїлова Н.П., д.т.н.,

Трушков Г.В.,

Радченко І.Г.,

Лебедєва Л.В.

*Військова академія (м. Одеса, Україна)*

*Створення ефективних методів для досконалої обробки виробів на гнучких автоматизованих виробництвах, на обробних модулях, на верстатах з числовим програмним управлінням, що не може бути досягнуто без комп'ютерно-орієнтованих технологій, які дають можливість ефективного геометричного проектування. Тому у роботі розглянуто моделювання геометро-кінематичним методом спряжених гвинтових поверхонь стосовно до різучого інструмента - черв'ячної фрези. Працездатність багатозаходної чистової черв'ячної фрези у значній мірі залежить від параметрів початкової гвинтової поверхні.*

*Моделювання різучого інструменту вимагає від прикладної геометрії створення таких ефективних методів профілізації, які скорочують терміни проектування і забезпечують необхідну розрахунково-графічну точність, а також дозволяють поширити сферу застосування параметричного кінематичного гвинта для проектування гвинтових поверхонь і їх різновидностей.*

*У зв'язку із зростанням матеріальних і фінансових витрат, високу трудомісткість продукції і обмеженістю ресурсів необхідність ефективного використання виробничих ресурсів в сучасному виробництві стає все більш актуальною.*

*Вчені вже давно намагаються оптимізувати процес створенням універсальних графічних інструментів, до числа яких може бути віднесено і кінематичний гвинт, що являє собою по суті графічне зображення параметрів кінематичних пар, зміна одного з яких призводить до зміни інших, що відкриває можливість отримання форм деталей, з наперед заданими параметрами, зокрема деталей, спільна робота яких вільна від взаємного впровадження.*

*Велике значення при проектуванні спряжених гвинтових поверхонь має точне відтворення їхньої форми як основи надійної роботи майбутніх реальних виробів, що ускладнюється необхідністю виконання досить численних геометричних побудов, виконання яких за допомогою звичайних креслярських інструментів неминуче*

супроводжується внесенням цілком об'єктивних похибок, уникнути яких можна, що вимагає суттєвої творчої підготовки, чому і присвячена дана стаття.

*Ключові слова:* моделювання спряжених поверхонь, гвинтова поверхня, контактна поверхня зачеплення.

**Постановка проблеми.** Постоянное возрастание требований к качеству изделий, развитие компьютерных технологий и создание нового производственного оборудования являются объективными факторами, стимулирующими совершенствование методов моделирования сопряженных винтовых поверхностей изделий [3]. Одним из самых наглядных способов, является автоматизированный графоаналитический способ, который в свою очередь позволит повысить производительность труда. В данной статье рассматривается геометро-кинематический метод моделирования сопряженных винтовых поверхностей многозаходной чистовой черв'ячної фрезы, обрабатывающей сложную винтовую поверхность.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження полягає у створенні ефективного метода для досконалої обробки виробів на гнучких автоматизованих виробництвах, якій може дати можливість ефективного геометричного проектування ріжучих інструментів.

При дослідженні різних методів проектування ріжучого інструменту було встановлено, що дані методи мають певні складнощі у практичному застосуванні у виробництві та потребують високої кваліфікації користувачів.

В работах [1, 2] развита теория диаграммы винта где применялась для формирования сложных криволинейных сопряженных поверхностей, в машиностроении, также разрабатывались вопросы по выявлению и исключению интерференции сопряженных поверхностей.

Розширюючи можливості існуючої теорії діаграми просторового кінематичного параметричного гвинта і застосування його для формування складних криволінійних спряжених поверхонь [1], яка дає можливість визначення характеристики криволінійних поверхонь.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є визначення методу моделювання спряжених криволінійних поверхонь, що виявляє інтерференцію по контактній поверхні зачеплення ріжучого інструменту та деталі, розширити сферу застосування просторового параметричного кінематичного гвинта.

**Основна частина.** Найбільшого поширення в машинобудуванні були передачі, складені з таких коліс, які зберігають постійність кутових швидкостей навіть за наявності вагання міжосьової відстані, а їх виготовлення високотехнологічне. Інтерференція зубів буде

відсутній, як що профіль зуба одного зубчастого колеса спряжена тільки з профілем зуба іншого колеса. Для цього необхідно, щоб радіус граничної точки був менше радіуса нижньої точки активного профілю.

В інструментальному та зуборізному виробництвах відомі труднощі, пов'язані з визначенням рівняння обвідної поверхні по заданому рівнянню огинання і закону її руху. Це має місце, коли конструювання бічної поверхні її зуба, як обвідної двупараметричного сімейства поверхонь, ведеться з загальних позицій. Тому пропонуємо геометро-кінематичний метод моделювання спряжених гвинтових криволінійних поверхонь стосовно до проектування багатозахідної чистової черв'ячної фрези з наперед заданими параметрами. Розробка такого рішення завдання для зазначеного випадку, яке витікає з самої природи явищ, що описують в просторі взаємодією тіл з точково-контактуючими поверхнями.

*Рішення поставленого завдання.*

Рухома система координат  $O'_2 X'_2 Y'_2 Z'_2$  жорстко пов'язана з шуканою гвинтовою поверхнею і робить кутове переміщення  $\varphi_2$  в нерухомій системі координат  $O_2 X_2 Y_2 Z_2$  ( $\gamma \equiv z_1 \equiv z'_1$ ), положення якої щодо системи  $O_1 X_1 Y_1 Z_1$  визначається кутом схрещування  $\theta$  і найкоротшою відстанню  $L$  між осями  $i$  і  $\gamma$ . Кутові переміщення  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  спряжені заданим передавальним переміщенням (рис. 1):

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = u. \quad (6)$$

Для визначення координат контактної точки на шуканій гвинтовій поверхні необхідно скористатися рівнянням спряження координат:

$$\overline{r'_2} = M_{S'_2 S_2} \cdot M_{S_2 S_1} \cdot \overline{r_1}. \quad (7)$$

Після отримання на основі координат контактної точки на обвідної гвинтової поверхні можна перейти до визначення її торцевого профілю.

Отримані параметричні рівняння характеристики  $t$ , які в загальному вигляді:

$$\begin{aligned} \chi_1 &= \chi_1(\varphi); \\ \gamma_1 &= \gamma_1(\varphi); \\ z_1 &= z_1(\varphi), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\varphi$  – параметр часу.

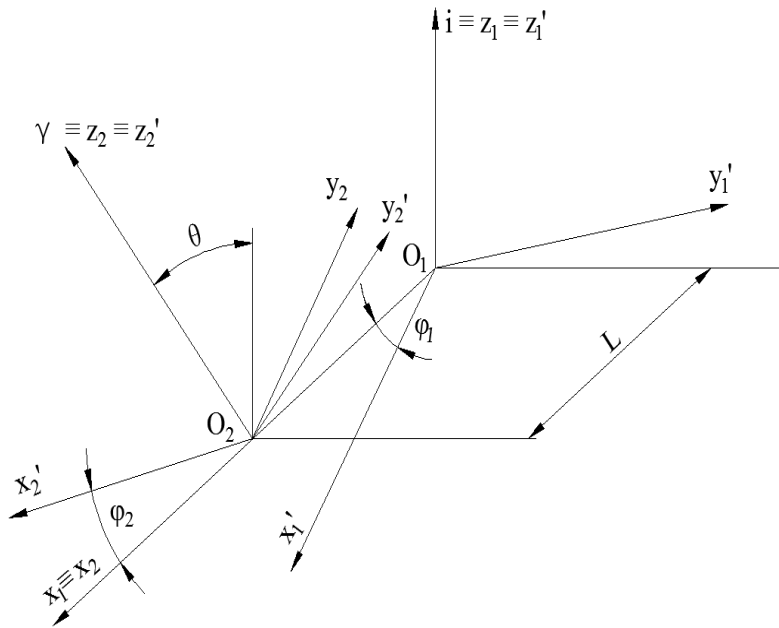


Рис. 1. Кутове переміщення  $\varphi_1$  рухомої системи координат

Контактна точка є спільною точкою характеристики  $t$  та лінії зачеплення у площині  $\Sigma$ . Рівняння площини  $\Sigma$  має вигляд:

$$y_1 + z_1 \cdot \operatorname{tg} \beta = 0 \quad (9)$$

і дозволяє на підставі (9) записати рівняння лінії зачеплення:

$$\begin{aligned} x_{13} &= x_{13}(\varphi) = x_1(\varphi); \\ \gamma_{13} &= \gamma_{13}(\varphi) = \gamma_1(\varphi); \\ z_{13} &= z_{13}(\varphi) = -\frac{y_1(\varphi)}{\operatorname{tg} \beta}. \end{aligned} \quad (10)$$

Отримані координати контактної точки на лінії зачеплення і відповідний їм кут повороту  $\varphi_1$  утворює гвинтову поверхню, яка дозволяє за допомогою перетворення координат визначити координати контактної точки на шуканій обвідній гвинтової поверхні.

Виберемо на твірній  $l(\tau)$  поверхні  $\Phi$ , деяку точку  $M$ . Проведемо через неї горизонтальну площину  $\Gamma$ . Точка  $M_0$ , в якій площина  $\Gamma$  перетинає вісь  $m$ , є проекцією точки  $M$  на вісь  $m$ . Повернемо точку  $M$  навколо точки  $M_0$  на деякий кут  $\varphi(\sigma, \tau)$ . Описане кругове перетворення точки  $M$  визначається положенням точки  $M^*$ . Здійснюючи аналогічні перетворення всіх інших точок твірної  $l(\tau)$  поверхні  $\Phi$ , отримаємо точки гвинтової лінії  $l^*(\tau)$  поверхні  $\Sigma$ . Вісь  $m$ , яка є кривою, що міститься у вертикальній площині по відношенню до площини  $\Gamma$  і задається радіус-вектором  $m(u)$ , де параметр  $u$  визначає положення точки на цій осі. Тоді положення точки  $M_0$  на осі  $m(u)$  відповідає значенню параметра  $u_0$ .

Позначимо через  $\rho_0(u_0)$  одиничний напрямний вектор дотичної до осі  $m(u)$  в точці  $M_0$ , тоді значення параметра  $u_0$  може бути знайдене

зі співвідношення:

$$\bar{r}(\sigma, \tau) - \bar{m}(u_0) \times \bar{\rho}(u_0) = 0.$$

Формування каркасу спряженої гвинтової поверхні контакту ріжучого інструменту  $\Sigma$  формується обертанням навколо відповідних точок, які належать осі,  $m(u)$  кожної точки заданої вихідної поверхні  $\Phi$  на кут  $\varphi(\sigma, \tau)$ , який залежить, у загальному випадку, від положення точки на вихідній поверхні  $\Phi$ .

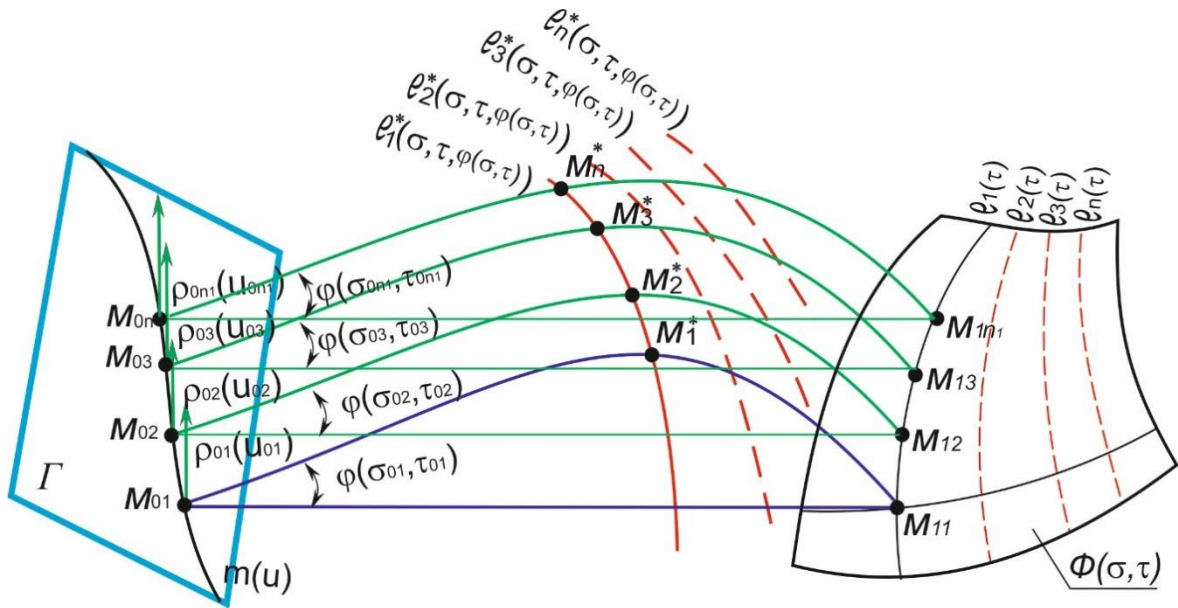


Рис. 2. Каркас контактної поверхні фрези та виробу

Застосуємо описане вище перетворення до кожної зворотньої точки  $M_{ij}$  на кожній твірній  $l_i(\tau)$  вихідної поверхні  $\Phi$  (Рис. 2). У результаті отримаємо сім'ю дискретно представлених кривих  $l_i^*(\sigma, \tau, \varphi(\sigma, \tau))$ , яка визначає каркас контактної гвинтової поверхні  $\Sigma$ .

Разом із спільним комплексним методом формування спряжених гвинтових поверхонь можливий і окремий випадок, зв'язаний з компенсацією зазорів при налаштуванні фрези. При кроці гвинтової поверхні  $h=0$ , вона перетворюється на коло і при кроці  $h=\infty$ , гвинтова поверхня перетворюється на циліндр.

**Висновки.** Конструювання спряжених криволінійних поверхонь по гвинтової контактної поверхні зачеплення дає можливість отримувати пари спряжених поверхонь, при контакті яких буде відсутнє явище інтерференції.

За допомогою просторового параметричного кінематичного гвинта розроблено геометро-кінематичний метод на базі якого запроєктована початкова гвинтова інструментальна поверхня багатозахідної чистової черв'ячної фрези.

### *Література*

1. Подкоритов А.М., Исмаїлова Н.П. Основи формування поверхонь. *Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія*. Мелітополь: ТДАТА, 2008. Вип. 7, Т.38. С.16-20.
2. Исмаїлова Н.П., Трушков Г.В. Моделирование сопряженных квазігвинтовых поверхностей. монографія, Одесса: Чорномор'я, 2017. 108 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Подкорытов А.Н., Исмаилова Н.П., Трушков Г.В.,  
Радченко И.Г., Лебедева Л.В.

*Рассмотрено моделирование сопряженных винтовых поверхностей геометро-кинематическим методом применительно к режущему инструменту -червячной фрезе. Работоспособность многозаходной чистовой червячной фрезы в значительной степени зависит от параметров начальной винтовой поверхности.*

*Моделирование режущего инструмента требует от прикладной геометрии создания таких эффективных методов профилирования, которые сокращают сроки проектирования и обеспечивают необходимую расчетно-графическую точность, а также позволят расширить сферу применения параметрического кинематической винта для проектирования винтовых поверхностей и их разновидностей.*

*В связи с ростом материальных и финансовых затрат, высокую трудоемкость продукции и ограниченностью ресурсов, необходимость эффективного использования производственных ресурсов в современном производстве становится все более актуальной.*

*Ученые уже давно пытаются оптимизировать процесс созданием универсальных графических инструментов, к числу которых могут быть отнесены и кинематический винт, представляющий собой по сути графическое изображение параметров кинематических пар, изменение одного из которых приводит к изменению других, открывает возможность получения форм деталей, с заранее заданными параметрами, в частности деталей, совместная их работа которых свободна от интерференции. Большое значение при проектировании сопряженных винтовых поверхностей имеет точное проектирование их формы как основа надежной работы будущих реальных изделий, что осложняется необходимостью выполнения многочисленных*

*геометрических построений, выполнение которых с помощью обычных чертежных инструментов неизбежно сопровождается внесением ошибок и избежать которых возможно, чему и посвящена данная статья.*

*Ключевые слова: моделирование сопряженных поверхностей, винтовая поверхность, интерференция, контактная поверхность зацепления.*

## **MODELING OF CONNECTED SCREW SURFACES**

Podkorutov A., Ismailova N., Truhkov G.,  
Radchenko I., Lebedeva L.

*The modeling of the mating helical surfaces by the geometrical-kinematic method as applied to the cutting tool of the worm cutter is considered. The performance of a multiple-feed worm mill largely depends on the parameters of the initial helical surface.*

*Modeling cutting tools requires applied geometry to create such efficient profiling methods that shorten the design time and provide the necessary computational and graphical accuracy, as well as expand the scope of the parametric kinematic screw for designing helical surfaces and their varieties.*

*In connection with the growth of material and financial costs, high labor intensity of products and limited resources, the need for effective use of production resources in modern production is becoming increasingly important.*

*Scientists have long been trying to optimize the process of creating universal graphic tools, among which can be attributed a kinematic screw, which is essentially a graphical representation of the parameters of kinematic pairs, changing one of which leads to a change in others, opens up the possibility of obtaining form parts, with predetermined parameters, in particular the details, their joint work which is free from interference. Great importance in the design of conjugated screw surfaces is the exact design of their shape as the basis for reliable future work of real products, which is complicated by the need to perform numerous geometric constructions, the implementation of which with the help of ordinary drawing tools is inevitably accompanied by the introduction of errors and which can be avoided, which is the subject of this article.*

*Keywords: modeling of conjugate surfaces, helical surface, interference, contacting surface.*