

д. т. н., професор **Н. П. Ісмаїлова**,

Nelly969@ukr.net, ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0181-4420>

к. т. н., ст. викл. **Т. М. Могилянець**,

mogilanectatana@gmail.com, ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0362-9907>

*Військова академія, (м. Одеса)*

к. т. н., доцент **Н. В. Олійник**,

natali.1727v@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-7003>

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК КРИВОЛІНІЙНОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТУ В КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ**

*У дослідженнях було розроблено та проаналізовано графоаналітичний спосіб граничних умов особливих точок криволінійної поверхні контакту під час оброблення гвинтової поверхні різального інструмента. Основою цих досліджень було визначення особливих точок спряжених поверхонь, які спрямовані з точок осі поверхні обертання на задану гвинтову поверхню.*

*Графоаналітичний спосіб ґрунтується на положенні диференціальної та прикладної геометрії. Граничні умови визначення особливих точок у криволінійних поверхнях є досить широким і розвиненим розділом науки, що спирається на теоретичні та практичні досягнення прикладної геометрії.*

*Розробка криволінійних поверхонь різучого інструменту для виготовлення складних деталей в озброєнні та військовій техніці, є для нашої країни темою дуже важливою та актуальною. У статті запропоновано оптимізувати процес створення універсальних засобів, до числа яких може бути віднесено і графоаналітичний спосіб проектування спряжених криволінійних поверхонь для проектування виробів із заздальгідь заданими параметрами. Запропонований спосіб дає можливість графічно визначити за яких умов з'являються особливі граничні точки під час контакту криволінійних поверхонь, що закладає в собі всі графічні формування, їх взаємозв'язок та взаємозалежність.*

*Велике значення під час проектування спряжених криволінійних поверхонь різучого інструменту, має точне відтворення їхньої форми, як основи надійної роботи механізмів майбутніх реальних виробів в озброєнні та військовій техніці. Метою даної статті є зробити певний крок у цьому напрямку, щодо створення графоаналітичного способу, за допомогою якого можна визначити особливі точки контакту спряжених криволінійних поверхонь для проектування різучого інструменту для обробки виробів, що мають складні криволінійні поверхні в озброєнні та військовій техніці.*

*Ключові слова: граничні умови; особливі точки; сполучені криволінійні поверхні; кінематичні пари; параметри; формоутворення; різальний інструмент; графоаналітичний спосіб.*

**Постановка проблеми.** У роботі пропонується визначення особливих точок криволінійної поверхні контакту в кінематичних парах граничними умовами, а саме для проектування гвинтової поверхні ріжучого інструменту, на базі параметричного кінематичного гвинта. Це досягається за допомогою звичайних узагальнених графоаналітичних алгоритмів, які дадуть можливість усунути помилки під час проектування ріжучого інструменту, за допомогою якого будуть оброблюватися вироби в озброєнні та військової техніки.

**Ціль статті.** Граничні умови визначення особливих точок криволінійної поверхні контакту в кінематичних парах графоаналітичним способом профілювання спряжених криволінійних поверхонь ріжучого інструменту для обробки виробів озброєння та військової техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні положення та вимоги до контактної поверхні сформульовані у роботі [1]. Відзначено, що для нормальної роботи зубчастих зачеплень, вони повинні мати загальну дотичну площину та загальну нормаль. Домогтися практичного виконання цих вимог при проектуванні складно, внаслідок необхідності визначення граничних умов, визначення особливих точок криволінійної поверхні контакту в кінематичних парах засновано на теоремах професора О.М. Подкоритова [3], та на розробках у роботі [1].

**Основна частина.** У роботах [1, 2] розроблено аналітичні дослідження спряжених гвинтових поверхонь, які дозволили моделювати процес дослідження зубчастих зачеплень та оброблюваного інструменту із застосуванням комп'ютерних технологій. У дослідженнях пропонуємо графоаналітичний спосіб визначення граничних умов особливих точок профілювання криволінійних формувань, що огинає сімейства кривих. Рівняння, де ліва частина якого безперервна функція, що диференціюється, при змінних, виражає плоску криву  $\ell$  при кожному фіксованому значенні  $C$ .

$$F(x, y, c) = 0, \quad (1)$$

Сукупність всіх таких кривих утворює сімейство кривих, залежних від параметра  $C$ . У багатьох випадках сімейство допускає існування кривої, що задана огинає, яка в кожній точки стосується деякої кривої сімейства. Задаючи сімейство поверхонь отримаємо рівняння (1), додаючи змінною деякій фіксоване значення. Криву  $\ell'$ , близьку до даної кривої  $\ell$ , виразили рівнянням

$$F(x, y, C + \Delta C) = 0. \quad (2)$$

Точки пересічення кривих  $\ell$  і  $\ell'$  задовольняють системі рівняння:

$$\begin{cases} F(x, y, C) = 0 \\ F(x, y, C + \Delta C) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де  $\Delta C \rightarrow 0$ , отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} F(x, y, C) = 0 \\ \frac{dF(x, y, C)}{dC} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Для фіксованого значення  $C$  рівняння (4) виражає точку, яка є характеристикою, що огинає криву  $\ell$  сімейства (3).

Перше рівняння (1) розглядається, як рівняння поверхні в системі координат  $OxuC$ . Встановлено, що в точки  $(x_0, y_0, C_0)$  функція  $dF(x, y, C)$  має безперервні похідні першого порядку по  $x, y, C$ , причому в самій цій точці;

$$\frac{dF(x, y, C)}{dy} \neq 0 \quad (5)$$

Існує паралелепіпед з центром в точці  $(x_0, y_0, C_0)$ , в межах якого рівняння  $F(x, y, C) = 0$  еквівалентно рівнянню:

$$y = (fX, C), \quad (6)$$

де  $(fX, C)$  має безперервні похідні і, отже, диференціюєма. Таким чином друге рівняння системи (4):

$$\frac{dF(x, y, C)}{dC} = \frac{df(x, C)}{dC} \quad (7)$$

або

$$\frac{dy}{dC} = \frac{df(x, C)}{dC} = 0 \quad (8)$$

Це означає, що в характеристичній точці тангенс кута, утвореного дотичною кривою, яка отримана перетином поверхні (6) площиною  $x = x_0$  в точці  $(x_0, C_0)$  і віссю  $OC$ , дорівнює нулю. Крім того, рівняння (8) виражає необхідну умову існування екстремуму функції.

$$y = f(x, C)|_{x=x_0}. \quad (9)$$

Рівняння

$$\lim_{C \rightarrow C_0} \frac{M_0 M}{C - C_0} = \frac{F_C(x_0, y_0, C_0)}{F_y(x_0, y_0, C_0)} = 0.$$

Дає можливість встановити, що відстань  $M_0M$  по вертикалі між точкою  $M_0$  на кривій  $(C_0)$  і кривій  $(C_0)$ , є нескінченна мале вищого порядку, порівняно з приростом параметра  $C - C_0$ . А простіше, точка  $M$  прагне до граничного положення  $M_0$  при  $C \rightarrow C_0$ .

При цьому, в більшості випадків, має місце і зворотне – характеристичні точки є граничними положенням точок пересічення при неорганічному зближенні пересічених кривих. Таким чином, можна зробити висновок, що визначити екстремальне значення функції (9) при  $x = x_0$  для визначення характеристичної точки. Отримані результати автори застосували для розрахунку зубчастого зачеплення.

Дослідження теорії кінематичного гвинта для проектування зубчастих з'єднань, можливо здійснити на базі наукових робіт [1] в галузі моделювання просторового параметричного кінематичного гвинта з використанням комп'ютерних технологій при профілюванні виробів кінематичним методом (рис. 1)

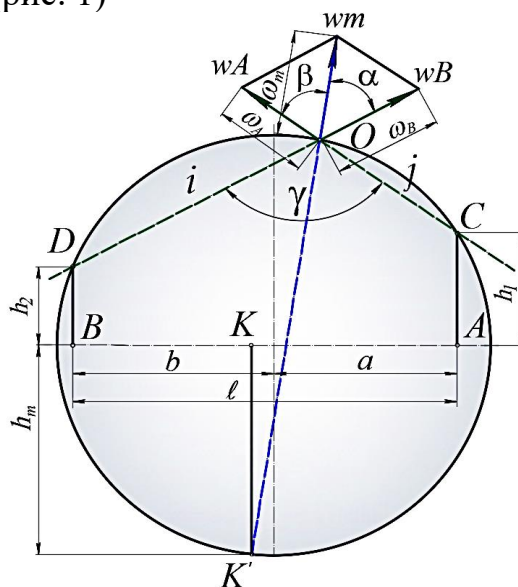


Рис. 1 Графік діаграми параметричного кінематичного гвинта

Граничні положенням точок криволінійної поверхні зачеплення графоаналітичним способом запропоновано на базі просторового параметричного кінематичного гвинта з точковим контактом.

Зображенню просторового параметричного кінематичного гвинта відповідає сукупність геометричних побудов, для визначення параметрів кінематичного гвинта без геометричних побудов (рис. 2).

Суть графоаналітичного способу, по визначенню точки з граничними положенням гвинтової поверхні контакту полягає у визначенні показників якості зачеплень у точках, використання яких дасть змогу, прогнозувати оптимальні умови роботи спряжених геометричних поверхонь зубчастого зачеплення на стадії проектування.

Комплексна аналітична модель зачеплення криволінійної поверхні, дає змогу отримання критерійного показника, в якому є можливість

взаємодії з параметрами характеристик зачеплення. Таким чином, реалізується можливість прогнозу, як якісного зачеплення, так і параметрів для його реалізації. Внаслідок цього, значно підвищуються експлуатаційні можливості, зменшується час в процесі проектування, відбувається економія матеріалів і енергетичних ресурсів.

Встановлено, що граничні точки стосовно руху спряжених гвинтових поверхонь, це і є геометричне місце тих точок на поверхні  $\Phi$ , та швидкості рухів яких відносно спряжених гвинтових поверхонь лежать у площині, дотичній до поверхні  $\Phi$ . Знайдений вектор відносної швидкості точки поверхні  $\Phi$  з координатами, у момент часу (рис. 2).

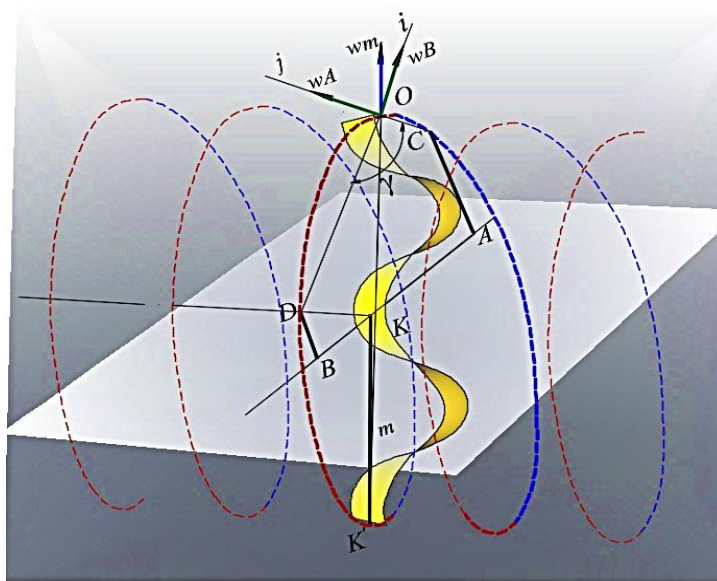


Рис. 2 Граничні умови особливих точок

З проведеного дослідження, отримано новий спосіб визначення граничних умов особливих точок криволінійної поверхні контакту в кінематичних парах, процедури та алгоритми параметричного геометричного моделювання кінематичного гвинта, що дозволить моделювати автоматично спряженні кінематичні пари, при проектуванні зубчастого зачеплення.

**Висновки та перспективи.** Існуючі види зачеплень, не можуть задовольнити повністю вимоги сучасних надпотужних машин, оскільки вони мають ряд істотних недоліків: у зубчастому зачепленні знаходиться одночасно невелика кількість зубів, унаслідок чого, неможливо передавати великі зусилля. Використання нового графоаналітичного способу граничних умов особливих точок криволінійної поверхні контакту при проектуванні гвинтової поверхні ріжучого інструменту розкриває широкі перспективи при проектуванні виробів які будуть працювати в зоні високого навантаження (у полюсі зачеплення) буде зменшувати нагрів та знос зубів.

## Література

1. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления (том 1).
2. *Подкоритов А. М., Исмаилова Н. П.* (2016) Теоретичні основи спряжених квазігвинтових поверхонь, що виключають інтерференцію: монографія. Херсон: ФОП Грінь Д.С. 330 с.
3. *Подкоритов А.М., Исмаилова Н.П., Трушков Г.В.* Геометричне моделювання зубчастого зачеплення на базі параметричного кінематичного гвинта / *Сучасні проблеми моделювання*. Збірка наукових праць: Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького. Мелітополь, 2018. Вип. 11. С. 135 – 139.
4. *Исмаилова Н.П., Елисеев И.М.* Моделювання спряжених поверхонь за допомогою метода кругового перетворення в системі MATLAB / *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Науковий журнал. Луцький національний технічний університет : Луцьк 2019. №37. С. 66-71.

## References

1. *Fikhtenholtz G.M.* Course of Differential and Integral Calculus (Vol. 1).
2. *Podkorytov A.M., Ismailova N.P.* (2016) Theoretical foundations of conjugate quasi-helical surfaces that exclude interference: a monograph. Kherson: FOP Green D.S. 330 p.
3. *Podkorytov A.M., Ismailova N.P., Trushkov G.V.* Geometric modeling of gearing based on a parametric kinematic screw / *Modern problems of modeling. Collection of scientific papers*. Melitopol : Melitopol State Pedagogical University named after B. Khmelnytsky, 2018. Issue 11. С. 135 – 139.
4. *Ismailova N.P., Eliseev I.M.* Modeling of conjugate surfaces using the method of circular transformation in MATLAB / *Computer-integrated technologies: education, science, production*. Lutsk : Lutsk National Technical University. Scientific journal, 2019. №37. С. 66 – 71.

Ph. D., prof **Nelli Ismailova**

[Nelly969@ukr.net](mailto:Nelly969@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0181-4420>

Ph. D.,Senior Lecturer **Tatiana Mohylianets**

[mogilanectatana@gmail.com](mailto:mogilanectatana@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0362-9907>

Department of Engineering Mechanics

Military Academy (Odessa)

PhD associate professor **Oliinyk Nataliia**

[natali.1727v@gmail.com](mailto:natali.1727v@gmail.com) ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4492-7003>

Department of Construction Production Technology Odessa

State Academy of Civil engineering and Architecture

## **DETERMINATION OF SPECIAL POINTS OF CURVILINEAR OF THE CONTACT SURFACE IN KINEMATIC PAIRS**

*In the research, a graph-analytical method of boundary conditions of special points of curvilinear contact surfaces for machining a helical surface of a cutting tool was developed and analyzed. The basis of this research was the determination of special points of mating surfaces, which are directed from the points of the axis of the surface of rotation to a given helical surface. Graphoanalytic method is based on the position of differential and applied geometry.*

*Limiting conditions for determining special points in curved surfaces is a rather broad and developed section of science, based on theoretical and practical achievements of applied geometry. The development of curvilinear surfaces of cutting tools for the manufacture of complex parts in weapons and military equipment, is a very important and relevant topic for our country. In the article it is offered to optimize the process by creation of universal means to which can be referred the method of designing of conjugate curvilinear surfaces for designing of products with predetermined parameters. The proposed method makes it possible to determine graphically under what conditions special points appear at contact of curvilinear surfaces, which lays down all graphical formations, their interrelation and interdependence.*

*Of great importance in the design of mating curvilinear surfaces of cutting tools is the accurate reproduction of their shape as the basis for reliable operation of mechanisms of future real products in weapons and military equipment. The purpose of this article is to make a definite step in this direction, concerning creation of graphoanalytical method with the help of which it is possible to define special points of contact of conjugate curvilinear surfaces for designing of cutting tools for processing of products which have complex surfaces in armament and military equipment.*

*Keywords: boundary conditions; special points; conjugate curvilinear surfaces; kinematic pairs; parameters; shaping; cutting tool; graph-analytical method.*