

УДК 621.9

Н.С. Равська, д.т.н., проф.*Національний технічний університет України "КПІ"***Т.П. Ніколаєнко, к.т.н., доц.***Державний університет будівництва та архітектури (м. Київ)***О.А. Охріменко, аспір.***Національний технічний університет України "КПІ"***ГЕОМЕТРИЯ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ**

Викладена в роботі уточнена методика дозволяє в будь-якій точці різальної кромки зубців черв'ячної фрези у будь-який момент часу в межах активної зони їх роботи розрахувати значення кінематичних кутів μ , μ та ψ . Це має велике наукове та практичне значення для оцінки можливої працездатності фрези в певному діапазоні зміни параметрів фрези та величин її рухів, аналізуючи геометрію різальної частини фрези.

Вступ

Домінуюче положення при обробці зубчатих коліс отримав процес зубофрезерування черв'ячними фрезами, працездатність яких значною мірою залежить від кінематичних параметрів їх різальної частини. До них належать задні, передні кути на вершинній і бокових кромках та кут нахилу вершинних і бокових кромки. Задача розрахунку цих кутів дотепер розв'язувалась спрощено, тобто без врахування рухів обертання фрези і колеса навколо своїх осей та подачі фрези, пов'язаної з рухом обкату. Також в існуючих методах не враховувалось, що поверхня фрези є черв'як з дискретними параметрами поверхні [1]; [2]; [7]. Все це вносить певні похибки в розрахунок значень кінематичних кутів і не дає повної картини про зміну кінематичних кутів на різальних кромках в будь-якій точці різальної частини фрези в будь-який момент її повороту навколо своєї осі.

Розробка фрез підвищеної точності та працездатності перш за все потребує уточнення визначення геометричних параметрів цього інструмента.

Методика визначення кінематичних кутів

Уточнена методика визначення кінематичних кутів для черв'ячної фрези як просторового тіла з дискретними параметрами поверхні з врахуванням всіх рухів, які відтворюються в процесі зубофрезерування, розглядаються на прикладі нарізання прямозубих не коригованих коліс правозаходними фрезами.

Раніше запропоновано методики [1]; [2]; [7] для знаходження кінематичних кутів різання приймалися деякі припущення, які спрощували завдання. Це стосується визначення відносної швидкості різання та описання поверхні фрези, що не давало повної картини про зміну кутів різання. Дана методика дозволяє визначити будь-який кут різання в будь-якій точці різальної частини фрези в будь-який момент повороту фрези навколо своєї осі. Розглядається спосіб нарізання прямозубих некоригованих коліс правозаходними фрезами з переднім статичним кутом, що дорівнює нулю.

Схема розташування осей координат при розрахунках наведена на рис. 1. Система координат $S(X, Y, Z)$ пов'язана з фрезою, вісь Z є віссю обертання фрези.

Рівняння різальної кромки фрези запишеться:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{лів.}} &= \begin{pmatrix} u \cos \alpha \cos(t + \varphi) \\ u \cos \alpha \sin(t + \varphi) \\ pt + u \sin \alpha - A_1 + g \end{pmatrix} \\
 R_{\text{пр.}} &= \begin{pmatrix} u \cos \alpha \cos(t + \varphi) \\ u \cos \alpha \sin(t + \varphi) \\ pt - u \cdot \sin \alpha + A_1 + g \end{pmatrix}, \\
 R_{\text{сп.}} &= \begin{pmatrix} u \max \cos \alpha \cos(t + \varphi) \\ u \max \cos \alpha \sin(t + \varphi) \\ pt + u l - B_1 + g \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

де коефіцієнти лів. пр. вр. відповідають лівій правій стороні та відповідно вершині зуба фрези, p – гвинтовий параметр фрези, α – кут пахилу твірної архімедової гвинтової поверхні, φ – кут повороту фрези відносно осі Z , g – параметр, який відповідає за осьові переміщення фрези змінюється в межах $\left[-p \frac{2\pi}{z_\phi}, p \frac{2\pi}{z_\phi}\right]$ (z_ϕ – кількість зубів фрези при осьовому зміщенні фрези на величину, більшу від зазначеної, наступний зуб, який був за центральним займе його положення і буде центральним), A_1 – зміщення твірної фрези вздовж осі фрези, що забезпечує при нульовому початковому параметрі g центральне положення зуба (для якого параметр $t = 0$) відносно між центральної осі, u – параметр, пов'язаний з діаметром фрези такою залежністю: $u \cos \alpha = d/2$, для якого діаметр змінюється в межах $[d_{\min} - 1.5, d_{\max}]$, u_1 – параметр, який визначає положення точки на вершинній різальній кромці, B_1 – аналог параметра A_1 для вершинної різальної кромки, t – параметр гвинтової поверхні, який для кожного зуба змінюється дискретно $t_i = \left(\frac{2\pi}{z_\phi}\right)i$, i – номер зуба (0 – центральний зуб, $i = 1..n$ – зуби, що розташовуються у напрямку збільшення значень осі Z , $i = -1..-n$ – зуби, що розташовуються у напрямку зменшення значень осі Z).

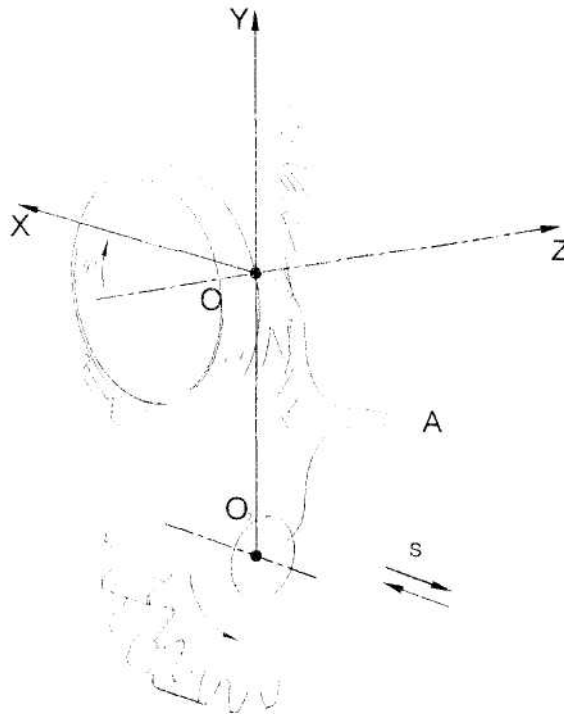


Рис. 1. Схема розташування осей координат

Робоча кількість зубів визначається як найбільша кількість зубів, що лежить на найбільшій осі еліпса перетину циліндрів виступів зубів фрези та колеса [8]. Товщина зуба фрези приймається як половина кроку гвинтової лінії, яка лежить на дізильному циліндрі для нової фрези. Таке припущення майже не впливає на одержані результати, однак спрощує розрахунки. Переточена фреза може розглядатись як фреза, описана рівняннями (1), однак межі зміни параметрів u , t будуть іншими, або як нова фреза з іншими параметрами, що було зроблено при розрахунках для зменшення громіздкості отриманих рівнянь.

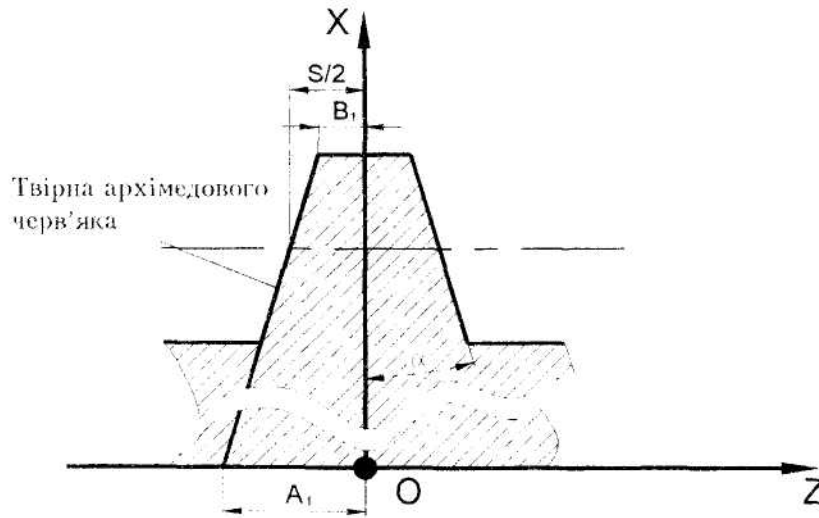


Рис. 2. Схема розташування центрального зуба

Для визначення поверхні різання запишемо рівняння відносної швидкості різання, з врахуванням результатів роботи [5] та швидкості подачі фрези:

$$V = \begin{pmatrix} -R_y(1 + i_{12}\sin\beta) - Ai_{12}\sin\beta \mp S \frac{i_{12}\cos\beta}{2\pi} \\ R_x(1 + i_{12}\sin\beta) - R_z i_{12}\cos\beta \\ (R_y + A)i_{12}\cos\beta \mp S \frac{i_{12}\sin\beta}{2\pi} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де β - кут установки фрези, A - міжосьова відстань, $i_{12} = 1/z_k$ - передаточне відношення фрези-коліса (фреза однозаходна), S - повздовжня подача фрези (розглядається метод радіального зубофрезерування), R_x, R_y, R_z - складові векторів з рівнянь (1), знаки \mp відповідно попутне та повздовжнє фрезерування.

Одиничні вектори дотичні до різальних кромки одиничної довжини (рис. 3), записуються:

$$\begin{aligned} RI_{лів} &= \begin{pmatrix} \cos \cos(t + \varphi) \\ \cos \sin(t + \varphi) \\ \sin \alpha \end{pmatrix}; \\ RI_{пр} &= \begin{pmatrix} \cos \cos(t + \varphi) \\ \cos \sin(t + \varphi) \\ -\sin \alpha \end{pmatrix}; \\ RI_{сп} &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Нормаль до поверхні різання знайдемо як векторний добуток дотичних до різальних кромки та відносної швидкості:

$$\begin{aligned} \vec{N}_{лів} &= \vec{R}I_{лів} \times \vec{V}_{лів}; \\ \vec{N}_{пр} &= \vec{V}_{пр} \times \vec{R}I_{пр}; \\ \vec{N}_{сп} &= \vec{R}I_{сп} \times \vec{V}_{сп}. \end{aligned} \quad (4)$$

Слід зазначити, що для правильного отримання знаків кутів необхідно, щоб вектор нормалі до поверхні різання був направлений в тіло інструмента, тому у векторному добутку для лівої сторони спочатку стоїть вектор RI , а для правої – навпаки.

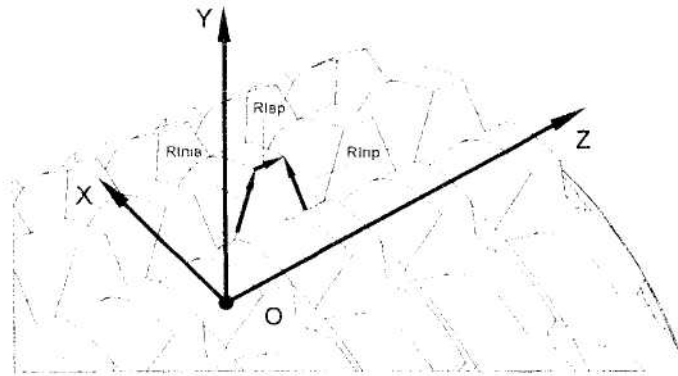


Рис. 3. Розташування векторів RI на різальній кромці зуба фрези

Нормаль до передньої поверхні затилюваної фрези з прямолінійними стружкороздільними та гострозаточеними канавками запишеться:

$$N_{np10} = N_{np1p} = \begin{pmatrix} -u \cos \alpha \sin(t + \varphi) \\ u \cos \alpha \cos(t + \varphi) \\ 0 \end{pmatrix}; \tag{5}$$

$$N_{np1p} = \begin{pmatrix} -u \max \cos \alpha \sin(t + \varphi) \\ u \max \cos \alpha \cos(t + \varphi) \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Звідси передній кут знайдемо за формулою, наведеною в [3].

Кут λ , кут між нормаллю до передньої поверхні N_{np} та відносною швидкістю різання V , буде:

$$\cos \lambda = \frac{N_{np} \cdot V}{|N_{np}| |V|}. \tag{6}$$

Задній кінематичний кут знаходимо як кут між нормаллю до задньої поверхні та поверхнею різання.

Запишемо радіус-вектор задньої затилюваної поверхні фрези з прямолінійними стружкороздільними канавками:

$$R_{zатил1б} = \begin{pmatrix} [u \cos \alpha - ka \psi] \cos(t + \varphi - \psi) \\ [u \cos \alpha - ka \psi] \sin(t + \varphi - \psi) \\ p(t - \psi) + u \sin \alpha - A_1 + g \end{pmatrix};$$

$$R_{zатил1п} = \begin{pmatrix} [u \cos \alpha - ka \psi] \cos(t + \varphi - \psi) \\ [u \cos \alpha - ka \psi] \sin(t + \varphi - \psi) \\ p(t - \psi) - u \sin \alpha + A_1 + g \end{pmatrix}; \tag{7}$$

$$R_{zатил1р} = \begin{pmatrix} [u \max \cos \alpha - ka \psi] \cos(t + \varphi - \psi) \\ [u \max \cos \alpha - ka \psi] \sin(t + \varphi - \psi) \\ p(t - \psi) + u l - B_1 + g \end{pmatrix},$$

де ψ – параметр руху затилювання (для нової фрези $\psi = 0$), ka – параметр затилювання,

$ka = \frac{K \cdot z_{\phi}}{2\pi}$, K – падіння затилка.

Нормаль до задньої поверхні гострозаточених фрез:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{затил.}} &= \begin{pmatrix} \sin\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\cos(t+\varphi) - \cos\alpha\sin\alpha_{\text{стбіч.}}\sin(t+\varphi) \\ \cos\alpha\sin\alpha_{\text{стбіч.}}\cos(t+\varphi) - \sin\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\sin(t+\varphi) \\ \cos\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}} - 2\cos\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\cos^2(t+\varphi) \end{pmatrix}; \\
 N_{\text{затилр.}} &= \begin{pmatrix} -\sin\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\cos(t+\varphi) + \cos\alpha\sin\alpha_{\text{стбіч.}}\sin(t+\varphi) \\ -\cos\alpha\sin\alpha_{\text{стбіч.}}\cos(t+\varphi) + \sin\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\sin(t+\varphi) \\ \cos\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}} - 2\cos\alpha\cos\alpha_{\text{стбіч.}}\cos^2(t+\varphi) \end{pmatrix}; \\
 N_{\text{затилв.}} &= \begin{pmatrix} \sin\alpha_{\text{ствер.}}\sin(t+\varphi) \\ -\cos\alpha_{\text{ствер.}}\cos(t+\varphi) \\ 0 \end{pmatrix},
 \end{aligned} \tag{8}$$

де $\alpha_{\text{стбіч.}}$, $\alpha_{\text{ствер.}}$ – статичні задні кути на бічних сторонах та відповідно на вершині зуба.

Нормаль до задньої затилованої поверхні знаходиться як векторний добуток $N_{\text{затил.}} = \frac{\partial R_{\text{затил.}}}{\partial u} \times \frac{\partial R_{\text{затил.}}}{\partial \psi}$, звідки отримуємо такі залежності:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{затил.в.}} &= \begin{pmatrix} (k\sin\alpha - p\cos\alpha)\sin(t+\varphi+\psi) + (u\cos\alpha - k\psi)\sin\alpha\cos(t+\varphi+\psi) \\ (k\sin\alpha - p\cos\alpha)\sin\alpha\sin(t+\varphi+\psi) + (u\cos\alpha - k\psi)\cos(t+\varphi+\psi) \\ k\psi\cos\alpha - u\cos^2\alpha \end{pmatrix}; \\
 N_{\text{затилр.}} &= \begin{pmatrix} (-k\sin\alpha - p\cos\alpha)\sin(t+\varphi+\psi) + (u\cos\alpha - k\psi)\sin\alpha\cos(t+\varphi+\psi) \\ (k\sin\alpha - p\cos\alpha)\sin\alpha\sin(t+\varphi+\psi) + (u\cos\alpha - k\psi)\cos(t+\varphi+\psi) \\ k\psi\cos\alpha - u\cos^2\alpha \end{pmatrix}; \\
 N_{\text{затилв.}} &= \begin{pmatrix} k\sin(t+\varphi+\psi) + (u\max\cos\alpha - k\psi)\cos(t+\varphi+\psi) \\ -k\cos(t+\varphi+\psi) + (u\max\cos\alpha - k\psi)\sin(t+\varphi+\psi) \\ 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Задній кут знайдеться за залежністю:

$$\cos\alpha_K = \frac{N_{\text{затил.}} N_p}{|N_{\text{затил.}}| |N_p|}. \tag{10}$$

Аналіз геометричних параметрів різальної частини фрези

Розглянемо зміну геометричних параметрів на вершинній та бічних різальних кромках зубців фрези в межах активної зони роботи при нарізанні прямозубого колеса $m = 3,5$; кількість нарізуваних зубців колеса $z_k = 17$; діаметр фрези $d_a = 80$, затилована фреза з прямолінійними стружкороздільними канавками затилована по архімедовій спіралі за ГОСТом 9324-80; вершинний статичний задній кут $\alpha_n = 10^\circ$, висота зуба, на якій дається розрахунок кутів, $2,25 m$ (рис. 4); вибірка зроблена по рейці; зуб, позначений 0, є центральним; зуби стоять один від одного на відстані кроку; положення всіх зубів в момент найбільшого врізання в заготовку ((рис. 5) параметр $t + \varphi = 270^\circ$).

Аналіз розрахунків показує, що зміна кутів вздовж різальної кромки не більше 5° в окремих випадках нарізання, при чому ця різниця більша для гострозаточених фрез, ніж для затіланих, (рис. 4), енюри γ , λ також відповідають і гострозаточеним фрезам, найбільша зміна кутів спостерігається на бічних кромках. Однак гострозаточені фрези мають більші значення задніх кутів на бічних кромках зубів. Зуби, які працюють на вхід в зубчате колесо, мають більш несприятливу геометрію різальної частини, ніж ті, що працюють на вихід. Збільшення кількості нарізуваних зубів колеса призводить до незначного зменшення задніх кутів на бічних кромках, однак вирівнюються значення кутів. Збільшення діаметра фрези призводить до зменшення значень задніх кутів. Передній та задній кути мають більше значення на врізанні в заготовку та виході з неї (рис. 5), однак ця різниця не перевищує 2° для дослідженого випадку.

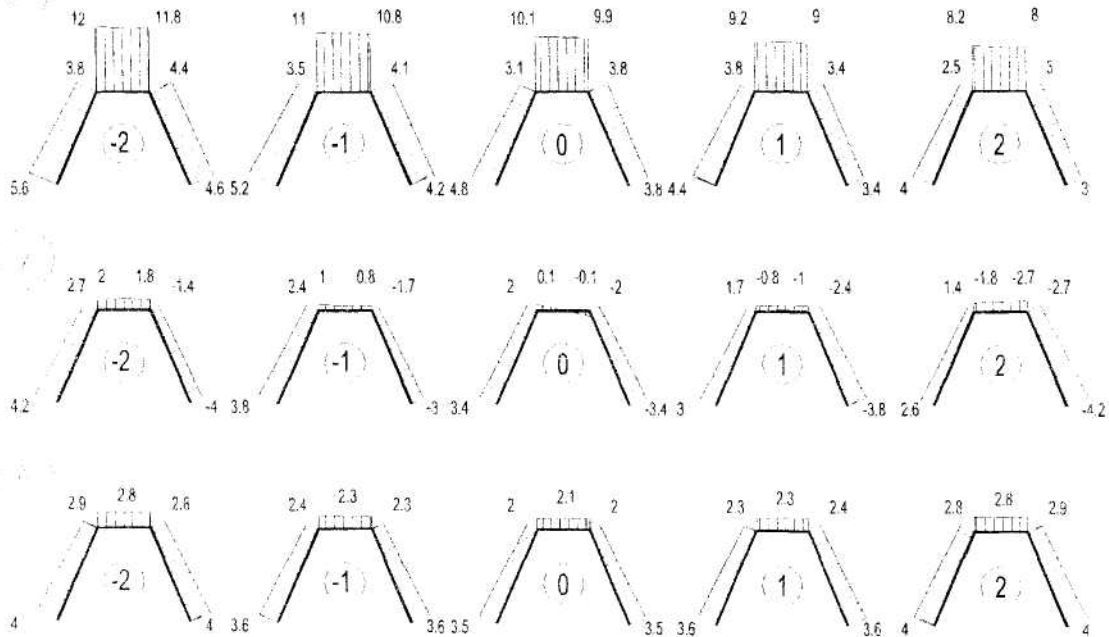


Рис. 4. Кінематичні кути різальної частини фрези для випадку нарізання прямозубого колеса $m = 3,5$, $Z_k = 17$, $d_a = 80$, $\alpha_a = 10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$.

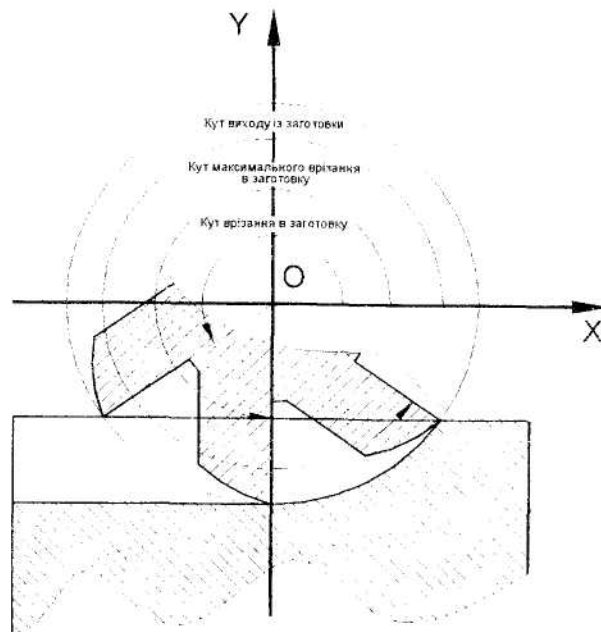


Рис. 5. Кути врізання та виходу зубів фрези

Висновок

Викладена в роботі уточнена методика дозволяє в будь-якій точці різальної кромки зубців черв'ячної фрези в будь-який момент часу в межах активної зони їх роботи розрахувати значення кінематичних кутів α , γ та λ .

Це має велике наукове та практичне значення для оцінки можливої працездатності фрези в певному діапазоні зміни параметрів фрези та величин її рухів, аналізуючи геометрію різальної частини фрези.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Козан Г.И. Повышение производительности зуборезных станков. – М.: Машгиз, 1946. – 244 с.
2. Коновалов Е.Г., Сакулевич Ф.Ю. Диагональное зубофрезерование. – М.: Наука и техника, 1968. – 104 с.
3. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Выща школа, 1990. – 124 с.
4. Сахаров Г.Н. Обкаточные инструменты. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
5. Равська Н.С., Охріменко О.А. Про підвищення точності профілювання черв'ячних фрез // Вісник НТУУ "КПІ" / Машинобудування. – 2002. – Вип. 43. – С. 104–105.
6. Сидоренко Л.С., Курсанов Г.Н. Расчет твердосплавных червячных фрез с отрицательным углом // Станки и инструмент. – № 5. – 1984. – С. 18–19.
7. Сидоренко Л.С. Расчет кинематических углов цилиндрических червячных фрез с поворотными пластинками // Станки и инструмент. – № 11. – 1981. – С. 32–33.
8. Сидоренко Л.С. Расчет параметров слоя, срезаемого кромками червячной фрезы // Станки и инструмент. – № 9. – 1986. – С. 32–34.

РАВСЬКА Наталя Сергіївна – доктор технічних наук, професор, завідувача кафедрою інструментального виробництва Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

НИКОЛАЄНКО Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри парисної геометрії Державного університету будівництва та архітектури (м. Київ).

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

ОХРИМЕНКО Олександр Анатолійович – аспірант кафедри інструментального виробництва Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

Подано 10.10.2003