

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-14>

УДК 515.2

О. О. Дереза¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-9358-7968

О. Є. Мацулевич¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-5553-709X

Г. В. Антонова¹, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-0357-6086

О. Ю. Михайленко¹, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-8836-3222

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: olena.dereza@tsatu.edu.ua

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОФІЛЮВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ БЕЗ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ

Анотація. У роботі дана характеристика функціональних поверхонь черв'ячних фрез. Зазначено, що найбільш продуктивним різальним інструментом є чистові черв'ячні фрези з просторовою ріжучою крайкою. Застосування в новій машинобудівній технології чистових черв'ячних фрез без інтерференції дає змогу уникнути підрізання, заклинювання, небезпечних концентрацій напруг і підвищує точність, продуктивність та надійність широкого класу деталей у машинобудуванні й різальному інструменті. Розроблення даного способу проектування черв'ячних фрез здійснюється з урахуванням цієї умови. Застосування сучасного програмного забезпечення, що дає змогу розробляти, прораховувати й візуально відображати отримані сполучені поверхні, істотно скорочує строки проектування і збільшує точність результатів. Розроблено оригінальний програмний продукт для отримання профілю черв'ячної фрези у нормальному перерізі, що дало змогу повністю автоматизувати процес проектування. Розроблена і реалізована в роботі програмна методика проектування і розрахунку черв'ячних фрез має більшу достовірність порівняно з традиційною. Виявлено, що під час проектування багатозаходних черв'ячних фрез із кутом підйому понад 6° виходять погрішності, які значно перевищують допуски на виготовлення гвинтових нелінійчатих поверхонь. Для усунення цих недоліків у роботі застосовано кінематичний спосіб проектування точних, високопродуктивних черв'ячних фрез із більшим кутом підйому витків. Підсумком роботи є створена автоматизована система проектування функціональних поверхонь зубонарізного інструменту. Результати роботи пройшли апробацію і прийняті до впровадження у виробничому підрозділі відкритого акціонерного товариства «Запорізький автомобілебудівний завод».

Ключові слова: автоматизована система проектування, черв'ячна фреза, профілювання, функціональна поверхня, зубонарізний інструмент, профіль зуба, нормальний переріз, попарно спряжені аксоїди, кінематичний гвинт.

Постановка проблеми. Для забезпечення якісного контакту елементів зубчастих передач, що є запорукою їх надійної експлуатації, необхідно, щоб розміри та профіль черв'ячної фрези відповідали геометрії зубчастого колеса в процесі виготовлення. Хоча новостворена черв'ячна фреза спочатку відповідає цим критеріям, її повторне загострення призводить до зменшення діаметра. Це, своєю чергою, спричиняє зменшення висоти зубів шестерні або зубчастого колеса, що унеможливорює належне зачеплення зубчастої передачі. Наявні у виробництві методи вирішення цієї проблеми здатні лише тимчасово продовжити термін служби інструменту. Упровадження в сучасні машинобудівні технології чистових черв'ячних фрез, які не викликають інтерференції, дає змогу запобігти підрізанню, заклинюванню, небезпечним концентраціям напружень та підвищити точність, продуктивність і надійність широкого спектра деталей та різального інструменту.

Розроблення черв'ячних фрез, що мають складну геометричну форму, вимагає значного обсягу обчислень, які є досить складними та часозатратними. З огляду на це, важливим є впро-

вадження автоматизації в усі етапи проєктування за допомогою сучасних систем автоматизованого проєктування (CAD).

Аналіз попередніх досліджень. У працях науковців Одеської школи прикладної геометрії під керівництвом доктора технічних наук, професора А.М. Подкоритова [1; 2] запропоновано спосіб проєктування прецизійних та високоефективних черв'ячних фрез, які унеможливають інтерференцію. Цей спосіб базується на кінематичному методі проєктування чистових черв'ячних фрез шляхом побудови обвідних сімейств кінематично спряжених аксоїдів, що відповідають діаграмі кінематичного гвинта.

Фундаментом цієї методики є теорема, сформульована професором Подкоритовим:

За умови, що кожному зі спряжених узагальнених поверхонь Σ_A і Σ_B розглядати як обвідну множини попарно спряжених миттєвих аксоїдів Φ_A^i і Φ_B^j , які відповідають діаграмі кінематичного гвинта, кожна точка дотику поверхонь Σ_A і Σ_B ідентифікується як точка дотику лінії контакту $m(\tau)$ аксоїдів з поверхнею Σ_A .

Згідно з теорією кінематичних гвинтів, через будь-яку точку контакту характеристики проходить спільна нормаль спряжених поверхонь, яка є віссю лінійного комплексу гвинта відносно руху поверхонь Σ_A і Σ_B (рис. 1).

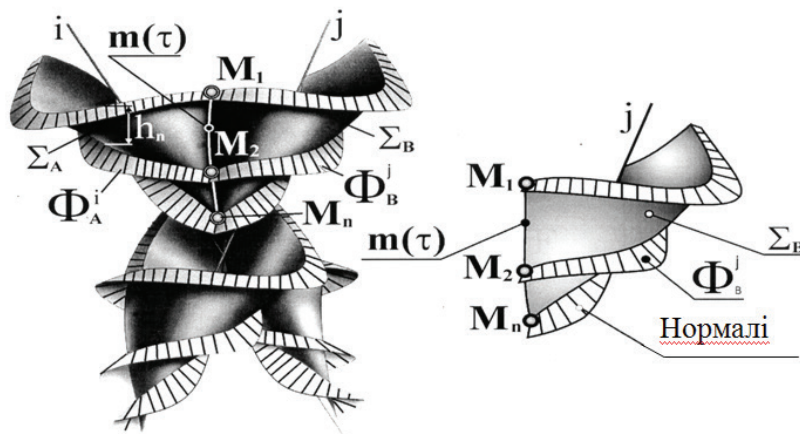


Рис. 1

Відповідно до теорії кінематичних гвинтів, через кожную точку контакту характеристики проходить спільна нормаль спряжених поверхонь, яка являє собою вісь лінійного комплексу гвинта відносно руху цих поверхонь. Суть кінематичного підходу до проєктування вихідної різальної поверхні Σ_A черв'ячної фрези, яка контактує із заданою криволінійною поверхнею Σ_B оброблюваної деталі, полягає у тому, що характеристика лінії контакту спряжених аксоїдів визначається як геометрична множина точок, що одночасно здійснюють два види рухів: обертальний – навколо осі I та поступальний – уздовж осі I [2].

Формулювання мети статті. Основною метою статті є створення автоматизованої системи для проєктування черв'ячних фрез зі складною геометричною формою із застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування (CAD).

Основна частина. Запропонований програмний модуль розроблено з метою розширення Autodesk Inventor стандартного функціоналу системи автоматизованого проєктування. Він є спеціалізованою підсистемою автоматизованого проєктування, орієнтованою на конкретне завдання, а саме – проєктування черв'ячних зубонарізних фрез.

У процесі проєктування передбачається вирішення таких завдань:

- обчислення геометричних параметрів фрези;

- визначення значень показників точності та технічних вимог відповідно до класу точності нарізаного колеса;
- створення тривимірної моделі фрези.

Програмний засіб для отримання профілю робочої поверхні зубонарізного інструменту було розроблено в середовищі програмування C++, яке повністю інтегроване з пакетом прикладних програм Autodesk Inventor.

Початковими даними для проектування черв'ячних фрез, призначених для обробки зубчастих коліс, слугують параметри оброблюваної шестерні або зубчастого колеса.

На початковому етапі моделювання відбувається отримання профілю зуба шестерні шляхом задання таких вихідних параметрів зубчастого колеса (рис. 2):

- модуль зачеплення;
- кут профілю базового контуру;
- коефіцієнт висоти головки зуба;
- коефіцієнт радіального зазору;
- кількість зубів;
- коефіцієнти зсуву базового контуру коліс;
- кут нахилу зубців;
- напрям лінії зубів.

Рис. 2

Отриманий профіль використовується для створення першої криволінійної поверхні $\sum_A$ кінематичного гвинта (як показано на рис. 1).

Після введення параметрів зубчастого колеса подальшим етапом моделювання є введення в діалогове вікно програмного забезпечення параметрів фрези, таких як її тип, вид черв'яка, кількість заходів черв'яка та клас точності і т. д.

На сторінці «Параметри фрези» (рис. 3) вибираються тип фрези, клас точності, конструктивні параметри та задаються параметри стружкової канавки (рис. 4).

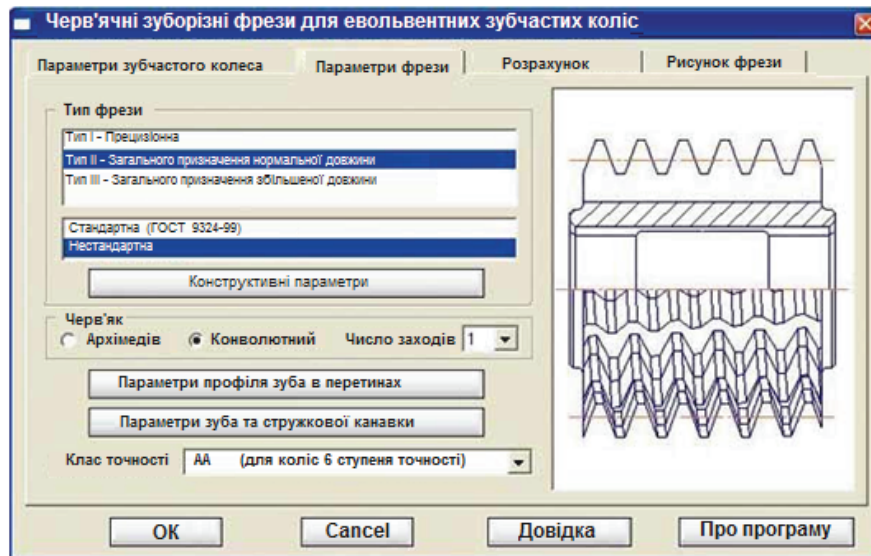


Рис. 3. Вікно вибору типу черв'ячної фрези та її основних параметрів



Рис. 4. Параметри бічного профілю зуба й стружкової канавки

Реалізовано розрахунок як нестандартних черв'ячних фрез, так і вибір із бази даних стандартних фрез відповідно до Держстандарту 932480Е. Переглянути параметри стандартних черв'ячних фрез можна, натиснувши кнопку «Конструктивні параметри».

Третя сторінка є вихідною. На ній можна переглянути результати розрахунку. Під час натискання на кнопку Ok спочатку відбувається перехід на третю сторінку, щоб користувач міг побачити приблизні результати розрахунку, а за повторного натискання на Ok з'являється фантом, або робочий кресленик фрези.

Наступна сторінка відображає отриманий профіль фрези (рис. 5). На ній можна візуально проконтролювати побудований профіль. Результати розрахунку також можна автоматично передати в Excel.

Із Excel програмний модуль взаємодіє за допомогою технології OLE Automation через IDispatch-інтерфейси за допомогою класів, похідних від класу COleDispatchDriver.

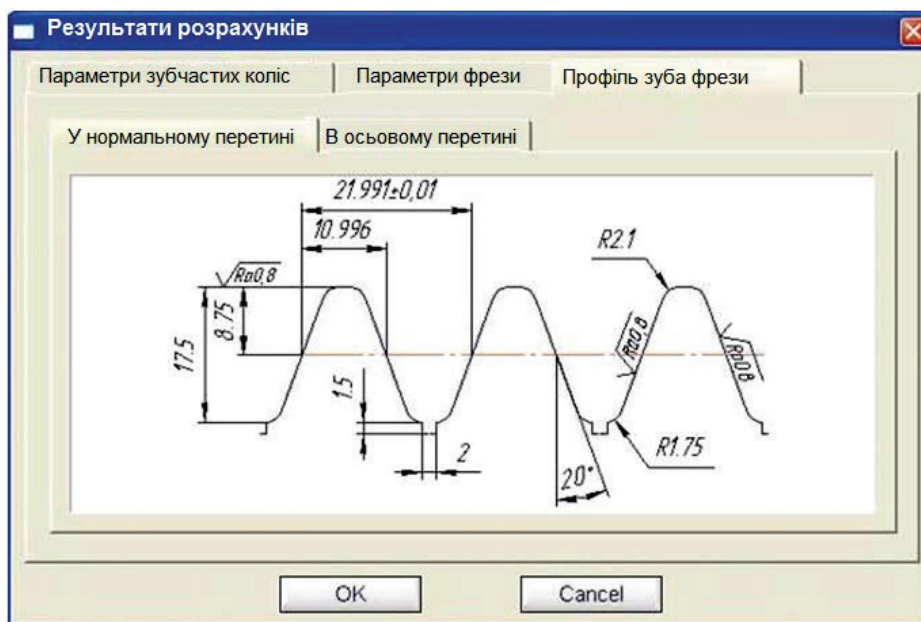


Рис. 5. Профіль зуба фрези

На четвертій сторінці (рис. 6) задається спосіб виводу результатів проектування. Можна задати оформлення креслення фрези з розмірами (робітник креслення), без розмірів (загальний вид, розріз, ліворуч, праворуч), побудова тривимірної моделі фрези, вивід результатів розрахунку геометрії.

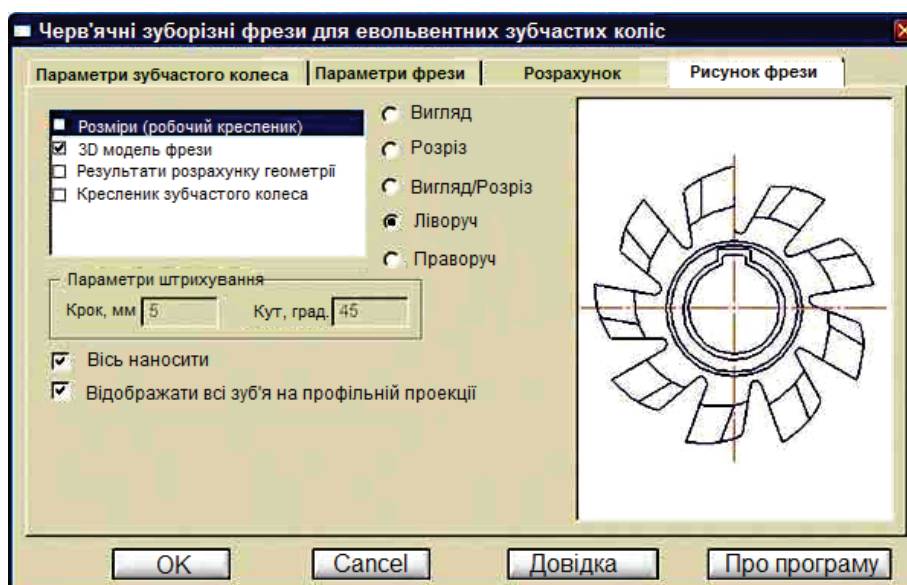


Рис. 6. Вибір способу візуалізації результатів проектування

Кінцевим результатом роботи програмного забезпечення є профіль зуба фрези, отриманий у нормальному перерізі, який потім передається до системи Autodesk Inventor для створення тривимірної моделі черв'ячної фрези з використанням розробленого додаткового програмного модуля (рис. 7).

За зміни будь-яких вихідних даних відбувається перерахування геометричних параметрів фрези й перемальовування її слайда.

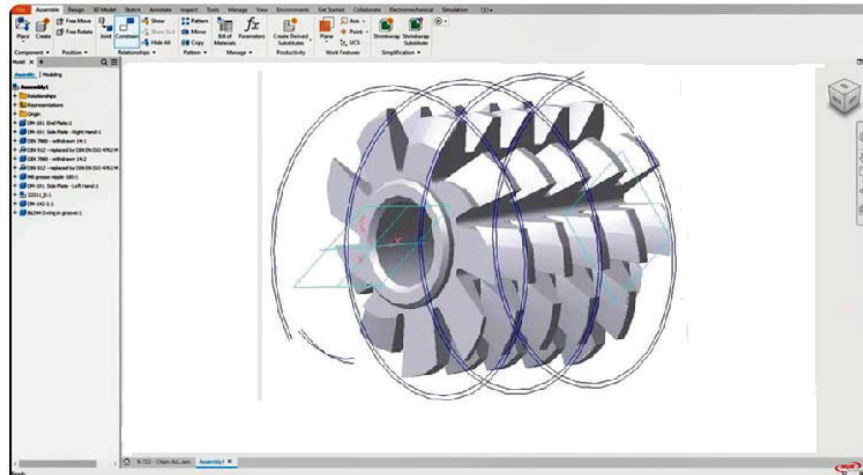


Рис. 7. Створення у системі Autodesk Inventor тривимірної моделі черв'ячної фрези

Якщо в параметрах відрисовки була включена опція 3D-модель фрези, то після створення робочого креслення формується деталь, що містить тривимірну модель інструмента.

Висновки. Після отримання тривимірної моделі черв'ячна фреза заноситься до бібліотеки ріжучого інструменту, яка може виступати в ролі СОМ-компонента для інших додатків. Ця перевага відрізняє бібліотеку від усіх прикладних бібліотек, що поставляються разом з Autodesk Inventor.

Список використаних джерел

1. Павлышко А.В. Комплексное геометрическое моделирование сопряженных нелинейчатых поверхностей без интерференции на базе современной компьютерной технологии : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Одесса, 2003.
2. Гавриленко Є.А. Визначення положення центрів кривини дискретно представленої кривої *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. 2012. Вип. 5(76). С. 145–151.
3. Гавриленко Є.А. Визначення границь діапазонів положення центрів кривини плоского обводу. *Прикладна геометрія та інженерія. Графіка*. 2012. Вип. 4. Т. 52. С. 103–106.
4. Михайленко О.Ю., Антонова Г.В. Технологія формоутворення елементів каркасу динамічної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12.Т. 2. № 26.
5. Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Залевський С.В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8. Т. 1. С. 55–68.
6. Дереза О.А., Антонова Г.В., Тетервак І.А., Валієва К.М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 29–31 травня 2023 р. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 147–153.
7. Alrefo I.F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun, O., Miroshnyk, O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023. 4, 82–88. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>
8. Y. Havrylenko, J.I. Cortez, Y. Kholodniak, & G.T. Garcia. (2020) Modelling of surfaces of engineering products on the basis of array of points *Tehnički vjesnik* 27, 6(2020), 2034–2043. <https://doi.org/10.17559/TV-20190720081227>
9. Havrylenko, Y. Kholodniak, Y. Formation of geometric model of the impeller of the turbocharger. *Proceedings of the Tavria State Agrrotechnological University*, 2014. 14, 48–53.
10. Alrefo I.F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk, O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, 4, pp. 82–88.. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362. (Q3).

Стаття надійшла до редакції 27.04.2025



O. Dereza¹, O. Matsulevych¹, G. Antonova¹, O. Mykhaenko¹

¹ Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

AUTOMATION OF THE PROFILING PROCESS OF WORM CUTTERS WITHOUT INTERFERENCE

Summary

The paper presents a characteristic of the functional surfaces of worm milling cutters. It is noted that the most productive cutting tool is finishing worm milling cutters with a spatial cutting edge. The use of finishing worm cutters in new machine-building technology, without interference, allows you to avoid undercutting, jamming, dangerous stress concentrations and increases the accuracy, productivity and reliability of a wide class of parts in mechanical engineering and cutting tools. The development of this method of designing worm cutters is carried out taking into account this condition.

The use of modern software that allows you to develop, calculate and visually display the resulting mating surfaces significantly reduces design time and increases the accuracy of the results

The work developed an original software product for obtaining the profile of a worm cutter in a normal cross-section, which allowed for the complete automation of the design process.

The software methodology for designing and calculating worm milling cutters developed and implemented in the work has greater reliability compared to the traditional one. It was found that when designing multi-start worm milling cutters with a lead angle of more than 6° , errors are obtained that significantly exceed the tolerances for manufacturing helical non-linear surfaces.

To eliminate these shortcomings in the work, a kinematic method of designing precise, high-performance worm cutters with a larger angle of rise of the turns was used. The presence of software allows you to effectively adjust the profile of the cutter tooth during manufacturing.

The result of the work is the creation of an automated system for designing functional surfaces of a gear-cutting tool. The results of the work have been tested and accepted for implementation in the production unit of the Zaporizhia Automobile Plant Open Joint Stock Company.

Keywords: automated design system, worm cutter, profiling, functional surface, gear cutting tool, tooth profile, normal cross-section, pairwise conjugate axoids, kinematic screw.