

**РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ. ПРОЕКТУВАННЯ,  
ВИГОТОВЛЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ**

УДК 621.9.048.6

**І.С. Афтаназів, д.т.н., проф.****В.В. Вівчарик, пошукувач****Я.М. Кусий, к.т.н., доц.***Національний університет "Львівська політехніка"***АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ  
РІЗАЛЬНОГО ВІСТРЯ ЗУБОРІЗНИХ ІНСТРУМЕНТІВ**

*Представлено алгоритм автоматизованого розрахунку профілю зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання, зокрема дискових і пальцевих фрез. Проаналізовано сучасний стан проблеми, останні дослідження та публікації щодо розрахунку профілю зуборізальних фасонних фрез. Обґрунтовано вибір прикладного програмного забезпечення (середовища MATHCAD) для реалізації автоматизованого розрахунку профілю різального вістря металорізального інструмента та охарактеризовано етапи алгоритму обчислень з представленням математичних залежностей. Зроблено висновки із результатів досліджень та окреслено перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Зуборізальні інструменти належать до категорії найскладніших і специфічних щодо їх проектування, виготовлення та експлуатації. Конструкція зуборізальних інструментів визначається формою та розмірами зубців коліс, кінематикою процесу та умовами роботи інструмента. Різні типи та особливості конструювання зуборізальних інструментів диктуються типами зубчастих передач, що знаходять застосування в машинобудуванні [1].

Зубчасті вироби (колеса, шнекові вали, зірочки тощо) можна обробляти двома методами – обкочуванням та копіюванням.

Метод обкочування належить до прогресивних методів оброблення зубчастих виробів завдяки високій продуктивності процесу та забезпечуваній точності оброблення. Його застосовують у всіх типах виробництва: індивідуальному, серійному, масовому.

Метод копіювання має вужчу область застосування, проте він придатний для оброблення великомодульних зубчастих коліс (значення модуля  $m > 20$  мм), коли неефективне використання

інструментів, що працюють методом обкочування. Його використовують в індивідуальному та дрібносерійному виробництвах і досить рідко в умовах масового виробництва.

Зубонарізні інструменти, що працюють методом копіювання (зокрема дискові та пальцеві фрези), відносять до інструментів спеціального призначення. Вони придатні для оброблення зубчастих коліс визначених розмірів із певним числом зубців.

Дискові та пальцеві фрези застосовують для нарізання циліндричних прямозубих зубчастих коліс та коліс із похилими й шевронними зубцями 9–12 ступеней точності (ГОСТ 1643-81). Кожному конкретному випадку зубонарізання відповідає визначений профіль фрези, що залежить від модуля  $m$ , кута зачеплення  $\alpha_o$ , числа зубців колеса  $Z_1$ , а для коригованих коліс додатково необхідно врахувати і коефіцієнт зміщення  $\varepsilon$ .

Застосовувані для нарізання некоригованих зубчастих коліс дискові фрези виконують у вигляді наборів із 8 або 15 фрез, причому кожна фреза з набору обробляє колеса з визначеним діапазоном зубців. Набір із 8 фрез рекомендують для нарізання коліс із модулем до 8 мм, а набір із 15 фрез – для коліс з модулем понад 8 мм.

У процесі розрахунку профілю фасонних фрез (дискових і пальцевих) для нарізання евольвентних некоригованих коліс рекомендують користуватися додатками до ГОСТ 13838-68 і ГОСТ 10996-64, в яких наведено координати точок евольвентної та неевольвентної частин зубців фрези.

Робота стосовно розрахунку профілю різального вістря зуборізних інструментів виконувалась у відповідності до координаційного плану Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти України “Ресурсозбережливі та ощадні технології” на 2000–2004 роки в межах держбюджетних науково-дослідницьких тем ДБ”Зміцнення” “Дослідження впливу поверхневого зміцнення зубчастих коліс на довговічність передач, розробка зміцнювальних технологій і реалізуючого їх обладнання” (№ держреєстрації 0100U000511) і ДБ”Фреза” “Розроблення методології проектування та оптимізації технології виготовлення зубчастих коліс на основі нових різальних інструментів, схем різання та формування” (№ держреєстрації 0102U001203) у Національному університеті “Львівська політехніка” на кафедрі “Технологія машинобудування” Інституту інженерної механіки та транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми.** Основним завданням, яке вирішують при проектуванні дискових і пальцевих модульних фрез, є визначення

профілю різального вістря, що розраховують у прямокутній системі координат.

Розрахунку профілю фасонних зуборізних фрез присвячена значна кількість публікацій. Слід виділити роботи І.І. Семенченка [2], Г.І. Іноземцева [3], П.Р. Родіна [4], М.Л. Кукляка [5] тощо. Проте вперше методика розрахунку дискових і пальцевих фрез для оброблення коригованих і некоригованих зубчастих коліс викладена в [1].

Студентом Запорізького технічного університету Віталієм Клименком розроблена програма “Freza” для автоматизованого проектування дискових модульних фрез. Програма, написана з використанням мов Visual C++ (v.6.0) та Borland C (v.5.02), була представлена на Міжнародній олімпіаді з САПР і комп’ютерного моделювання (м. Хмельницький, травень 2001 р.) і зайняла перше місце у заочному турі. Програма “Freza” складається з двох модулів. Перший модуль, який може використовуватися незалежно, застосовується як розрахункова програма, де вводяться відправні дані, виконуються самі розрахунки та готуються дані для передачі в графічний редактор – система “КОМПАС-График 5.10” компанії АСКОН (Росія). Другий модуль виконаний у вигляді бібліотеки для системи “КОМПАС-График 5.10”. В кінцевому результаті отримують профіль різального вістря фрези та її робоче креслення [1].

Виділяючи значний внесок проф. В.Клименка щодо вирішення проблеми розрахунку фасонних зуборізних фрез, слід зауважити, що програма “Freza” стосується лише розрахунку дискових модульних фрез для нарізання некоригованих коліс. У спроектованій тут дискової фрези зубець не має нешліфованої ділянки, необхідної для виходу шліфувального круга. Крім того, відсутня інформація стосовно проміжних результатів, яка була б доцільною при ознайомленні із послідовністю розрахунку, зокрема у навчальному процесі.

**Постановка завдання статті.** Завдання даної статі полягає в ознайомленні з розробленими новими програмами (із використанням сучасного програмного забезпечення) для зменшення трудомісткості розрахунків профілю зуборізних інструментів, що працюють методом копіювання, зокрема дискових і пальцевих фрез, із збереженням проміжних результатів обчислень для наочності розрахунків.

**Вибір програмного продукту для реалізації поставленого завдання.** Існуючий на сьогоднішній день математичний апарат для здійснення обчислень за наперед заданим алгоритмом дозволяє ефективно розв’язувати задачі такого типу за допомогою персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ). Серед широкого асортименту продуктів програмного забезпечення,

зорієнтованих на розв'язування задач прикладної математики, механіки, фізики та візуалізацію результатів розв'язку заслуговує на увагу система MATHCAD як ефективний представник систем комп'ютерних розрахунків, споряджений мовою програмування для технічних розрахунків і проведення чисельних та імітаційних експериментів.

Незважаючи на певні недоліки у структурі та обмеженість функціональних можливостей у порівнянні із системами MATLAB чи MAPLE, середовище MATHCAD завдяки своїй простоті, наочності та доступності щодо сприйняття для пересічного користувача ПЕОМ є ефективним інструментом у практиці математичних і науково-технічних обчислень, що сприяє його широкому впровадженню в навчальний процес у багатьох вищих навчальних закладах.

**Алгоритм розрахунку евольвентної активної ділянки профілю різального вістря зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання.** Послідовність розрахунку евольвентної ділянки профілю різального вістря дискових і пальцевих фрез на підставі аналізу та вдосконалення методи, викладеної в [1]. Наведемо етапи розрахунку.

1. Введення відправних даних.

2. Вибір основних параметрів фасонної зуборізної фрези (дискової чи пальцевої) та геометричних параметрів елементів її закріплення в оправці.

3. Визначення радіусів основного кола нарізованого зубчастого колеса  $R_b$ , кола виступів  $R_a$  і кола западин  $R_f$ .

4. Вибір кількості точок  $N$ , для яких визначають координати профілю вістря у прямокутній системі координат, та відстань між точками  $\Delta$ .

5. Розрахунок кутів тиску у визначених точках профілю зубця  $\alpha_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

6. Обчислення половини кутової ширини западини на ділильному колі зубчастого колеса  $\delta_a$ .

7. Визначення половини кутової ширини западини  $\delta_i$  на колі радіусом  $r_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

8. Розрахунок координат профільних точок інструмента  $X_i, Y_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

9. Визначення ширини западини нарізованого зубчастого колеса  $S_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

10. Розрахунок висоти профілю зубця  $h_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

11. Визначення кінцевого значення ширини фрези  $B$  (для дискових фрез) або значення максимального діаметра евольвентної ділянки профілю пальцевої фрези  $d_{ev,max}$ .

12. Вибір переднього  $\gamma$  і заднього вершинного  $\alpha_e$  кутів фасонних фрез.

13. Розрахунок величини затилування для шліфованої  $k$  і нешліфованої ділянки профілю фрези  $K_1$ .

14. Вибір матеріалу для виготовлення металорізального інструменту та призначення технічних вимог на його виготовлення.

Відправними даними для автоматизованого розрахунку профілю різального вістря дискових і пальцевих фрез служать ступінь точності зубчастого колеса, модуль  $m$ , кут зачеплення  $\alpha_o$ , число зубців колеса  $Z_1$ , коефіцієнт зміщення  $\varepsilon$ , припуск під наступну операцію  $\Delta S$ , клас точності фрези, матеріал зубчастого колеса.

Вибір основних параметрів фасонної зуборізної фрези (дискової чи пальцевої) полягає у визначенні виду набору фрези (набір із 8 або 15 фрез), вибору номера фрези (1, 11/2, ... 8) та конструктивних параметрів зуборізального інструменту (зовнішній діаметр  $d_a$ , діаметр отвору фрези під оправку  $d_o$ , кількість зубців  $Z$ , ширина  $b$  (для дискової модульної фрези)).

Визначення радіусів основного колеса  $R_b$ , кола виступів  $R_a$  і кола западин  $R_f$  здійснюють за відповідними математичними залежностями:

$$R_b = \frac{m \cdot Z_1}{2} \cdot \cos(\alpha_o); \quad (1)$$

$$R_a = \frac{m}{2} \cdot (Z_1 + 2); \quad (2)$$

$$R_f = \frac{m \cdot Z_1}{2} - (h_f^* + C^* - \varepsilon), \quad (3)$$

де  $h_f^*$  – коефіцієнт висоти ніжки зубця колеса;

$C^*$  – коефіцієнт радіального проміжку.

Кількість точок  $N$ , для яких визначають координати профілю вістря у прямокутній системі координат, вибрана рівною 11. Це пов'язано з тим, що в цьому випадку, відстань між точками  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{R_a - R_b}{N - 1} \quad (4)$$

розраховується з точністю на порядок вищою, ніж точність величин  $R_a$  і  $R_b$  (обумовлене діленням на  $N - 1 = 10$ ).

Розрахунок кутів тиску у визначених точках профілю  $\alpha_i$  ( $i = 1 \dots N$ ) здійснюють за математичною залежністю:

$$\alpha_i = \arccos\left(\frac{R_b}{r_i}\right), \quad (5)$$

де  $r_{i+1} = r_i + \Delta$ ,  $r_i \in [R_b, R_a]$ .

Половину кутової ширини западини на ділильному колі  $\delta_\delta$  та половини кутової ширини западини  $\delta_i$  на колі радіуса  $r_i$  ( $i = 1 \dots N$ ) визначають за відповідними формулами:

$$\delta_\delta = \frac{\pi}{2 \cdot z_1} - \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg}(\alpha_\delta)}{z_1} + \frac{\Delta S}{m \cdot z_1}, \quad (6)$$

$$\delta_i = (\delta_\delta + \operatorname{inv} \alpha_i - \operatorname{inv} \alpha_\delta), \quad (7)$$

де  $\operatorname{inv} \alpha_i = \operatorname{tg}(\alpha_i) - \alpha_i$ ,  $\operatorname{inv} \alpha_\delta = \operatorname{tg}(\alpha_\delta) - \alpha_\delta$ .

На підставі результатів проведених обчислень розраховують координати профільних точок зуборізного інструмента  $X_i$ ,  $Y_i$  ( $i = 1 \dots N$ ).

$$X_i = r_i \cdot \sin(\delta_i), \quad (8)$$

$$Y_i = r_i \cdot \cos(\delta_i). \quad (9)$$

Після розрахунку координат профільних точок фасонних фрез обчислюють їх розміри у двох координатних напрямках, а саме: ширину западини колеса  $S_i$  і висоту профілю зубця  $h_i$  ( $i = 1 \dots N$ ):

$$S_i = 2 \cdot X_i, \quad (10)$$

$$h_i = Y_i - R_f. \quad (11)$$

Кінцеве значення ширини фрези  $B$  (для дискових фрез) або значення максимального діаметра евольвентної ділянки профілю пальцевої фрези  $d_{ev\max}$  розраховують за відповідними формулами:

$$B = (1 + 0,01 \cdot b_1) \cdot S_{\max}, \quad (12)$$

$$d_{ev\max} = (1 + 0,01 \cdot b_1) \cdot S_{\max}. \quad (13)$$

Вибір переднього  $\gamma$  заднього вершинного  $\alpha_e$  кутів зуборізальних фасонних фрез здійснюють згідно з рекомендаціями: [1], [2], [5].

Визначення величини затилування для шліфованої  $k$  і нешліфованої ділянки профілю фрези  $k_1$  здійснюють за відповідними математичними залежностями:

$$k = \frac{\pi \cdot d_a}{z} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_e), \quad (14)$$

$$k_1 = (1,2 \dots 1,35) \cdot k \quad (15)$$

Вибір матеріалу для виготовлення зуборізальних фасонних фрез і призначення технічних вимог на їх виготовлення здійснюють на підставі рекомендацій [1].

Робоче креслення фрези, яке виконане за отриманими результатами розрахунків, наведене на рис. 1, фрагмент програми “Dysk\_Freza” (введення відправних даних) для розрахунку профілю різального вістря дискової фрези представлено на рис. 2.

Процес введення відправних даних і вибір конструктивних параметрів фрез займає декілька хвилин, розрахунок профілю різального вістря – доли секунди. Проектант має можливість оцінити результати проміжних розрахунків програми і вивести її на друк.

**Загальні висновки.** Розроблені програми “Dysk\_Freza” і “Paltc\_Freza” дозволяють суттєво скоротити час при проектуванні дискових і пальцевих зуборізальних фрез на стадії технологічної підготовки виробництва. Дані програми доступні користувачеві ПЕОМ із базовим рівнем знань. Їх доцільно впровадити у навчальний процес при вивченні студентами спеціальності 07.090202 “Технологія машинобудування” курсів “Металорізальні інструменти”, “Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів”.

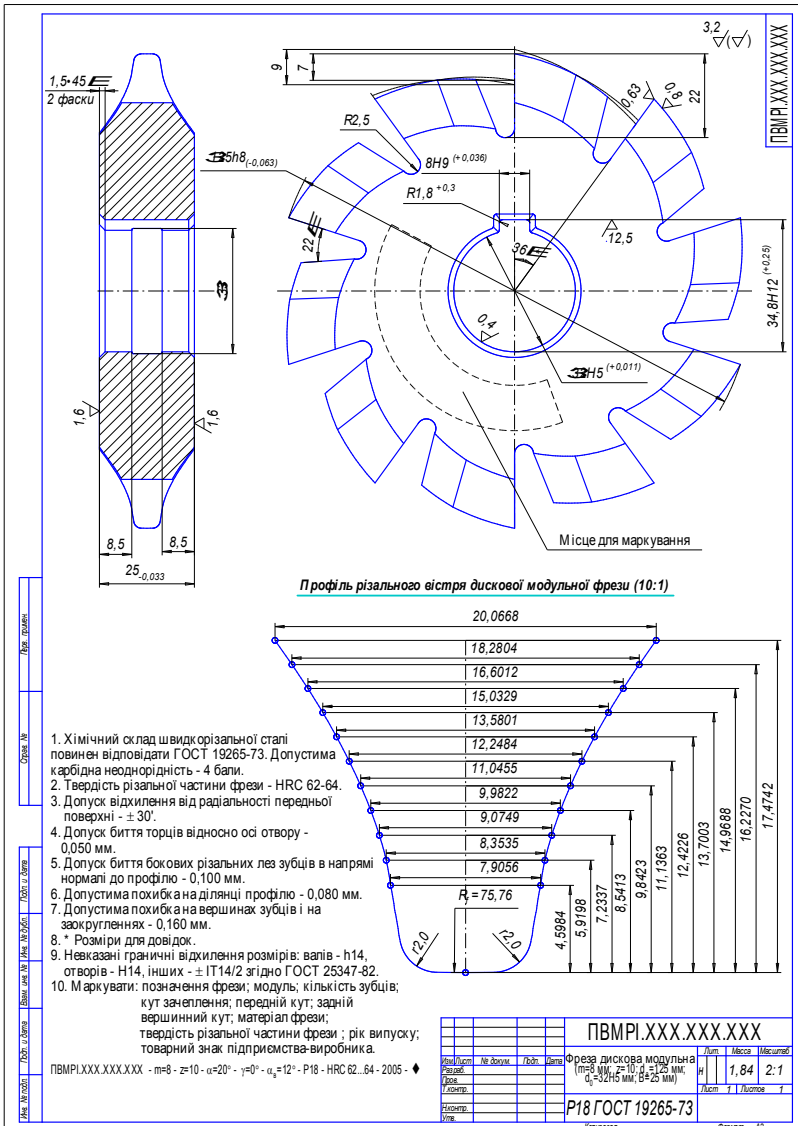


Рис. 1. Робоче креслення дискової фасонної фрези



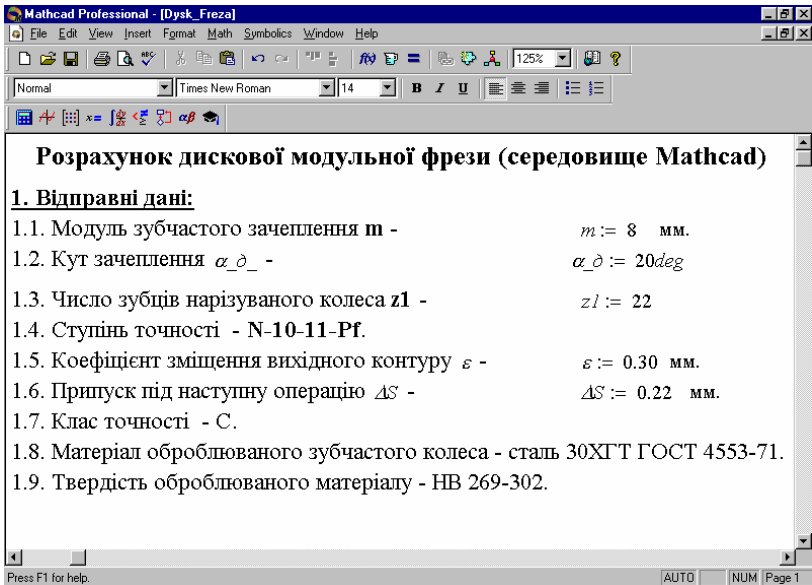


Рис. 2. Внесення відправних даних у програму "Dysk\_Freza"

Подальші дослідження у цьому напрямку спрямовані на розроблення системи автоматизованого проектування дискових і пальцевих фрез для оброблення коригованих і некоригованих зубчастих коліс.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Кукляк М.Л., Афтаназів І.С., Юрчишин І.І. Металорізальні інструменти. Проектування. – Львів: Львівська політехніка, 2002. – 455 с.
2. Семенченко І.І., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.
3. Иноземцев Г.И. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
4. Родин П.Р. Основы проектирования металлорежущих инструментов. – К.: Віща шк., 1990. – 422 с.
5. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти у машинобудуванні: Навч. посібник. Ч.ІІ. – К.: ІЗМН, 1998. – 400 с.

АФТАНАЗІВ Іван Семенович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Інституту інженерної механіки та транспорту Національного університету „Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

- вібраційно-відцентрове зміцнення деталей машин;
- розрахунок та проектування металорізальних інструментів.

Тел.: (0322) 2582501 (сл.);  
(0322) 719694 (дом.).

ВІВЧАРИК Василь Васильович – пошукувач кафедри технології машинобудування Інституту інженерної механіки та транспорту Національного університету „Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

- вібраційно-відцентрове зміцнення деталей машин;
- розрахунок та проектування металорізальних інструментів.

Тел.: (0322) 2582501 (сл.).

КУСИЙ Ярослав Маркіянович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Інституту інженерної механіки та транспорту Національного університету „Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

- вібраційно-відцентрове зміцнення деталей машин;
- розрахунок та проектування металорізальних інструментів.

Тел.: (0322) 2582501 (сл.).

Подано 13.05.2005

**Афтаназів І.С., Вівчарик В.В., Кусий Я.М.** Автоматизований розрахунок профілю різального вістря зуборізних інструментів

**Афтаназив И.С., Вивчарык В.В., Кусый Я.М.** Автоматизированный расчет профиля резательной кромки зуборезных инструментов

**Artanaziv I.S., Vivcharyk V.V., Kusyj Ya.M.** automated Calculation of Gear instrument edge's profile

УДК 621.9.048.6

**Автоматизований розрахунок профілю різального вістря зуборізних інструментів / І.С. Афтаназів, В.В. Вівчарик, Я.М. Кусий**

Представлено алгоритм автоматизованого розрахунку профілю зуборізальних інструментів, що працюють методом копіювання, зокрема дискових і пальцевих фрез. Проаналізовано сучасний стан проблеми, останні дослідження та публікації щодо розрахунку профілю зуборізальних фасонних фрез. Обґрунтовано вибір прикладного програмного забезпечення (середовища MATHCAD) для реалізації автоматизованого розрахунку профілю різального вістря металорізального інструмента та охарактеризовано етапи алгоритму обчислень з представленням математичних залежностей. Зроблено висновки із результатів досліджень та окреслено перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

УДК 621.9.048.6

**Автоматизированный расчет профиля резательной кромки зуборезных инструментов / И.С. Афтаназив, В.В. Вивчарык, Я.М. Кусый**

Резюме В статье представлен алгоритм автоматизированного расчета профиля зуборезных инструментов, работающих методом копирования, в том числе дисковых и пальцевых фрез. Проанализированы последние исследования и публикации, касающиеся расчета профиля зуборезных фасонных фрез. Обоснован выбор программного обеспечения (среды MATHCAD) и описан алгоритм для реализации автоматизированного расчета профиля резальной кромки металлорежущего инструмента. Сделаны выводы из результатов исследований и намечены перспективы последующих разведок в данном направлении.

УДК 621.9.048.6

**Automated Calculation of Gear instrument edge's profile / I.S. Artanaziv, V.V. Vivcharyk, Ya.M. Kusyj**

Abstract Algorithm of automated calculation of gear instrument edge's profile, working by copying method, including disk-shaped cutters and finger milling cutters, is suggested.