

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіoeлектроніки,
Факультет комп'ютерних наук і технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ
ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR CUTTING TOOLS DESIGN

Виконала: студентка 4 курсу, групи КНТ-227
Спеціальності 122 Комп'ютерні науки
забезпечення
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Комп'ютерні науки

Троян А.Е.
(прізвище та ініціали)

Керівник Пархоменко А.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Морщавка С.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ІРЕ, ФКНТ
Кафедра програмних засобів
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерні науки
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.
С.О. Субботін
“ ” 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Троян Анастасії Едуардівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка програмного забезпечення для проєктування
різального інструменту. Software Development for Cutting Tools Design

керівник проєкту (роботи) Пархоменко Анжеліка Володимирівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “30” березня 2021 року № 103

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 17 травня 2021 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне
завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області. 2. Вибір середовища та інструментарію розробки. 3. Програмна реалізація сервісного застосунку для автоматизованого проєктування різального інструменту. 4. Керівництво програміста. 5. Керівництво користувача.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5 Основна частина	Пархоменко А.В., доцент		
Нормоконтроль	Дейнега Л.Ю., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання “ 28 ” лютого 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи	1 тиждень	Завдання
2	Аналіз предметної області	2 тиждень	Розділ 1
3	Вибір інструментарію розробки	3 тиждень	Розділ 2
4	Розробка структури програми	4 тиждень	Розділ 3
5	Розробка програми	5 тиждень	Розділ 3
6	Тестування та експериментальне дослідження програми	6 тиждень	Розділ 3
7	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	7 тиждень	Розділи 4,5, Додатки
8	Нормоконтроль та рецензування	8 тиждень	
9	Захист роботи	9 тиждень	

Студент(ка)

(підпис)

Троян А.Е.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Пархоменко А.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра: 90 с., 31 рис., 13 табл., 2 дод., 24 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ, AUTOCAD, СЕРВІСНИЙ ЗАСТОСУНОК, ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА, ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО, КОНСТРУКТИВНИЙ ПАРАМЕТР, ДІАЛОВОЕ ВІКНО.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого проєктування металорізального інструменту.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматизованого проєктування черв'ячної зубонарізної фрези.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу проєктування різального інструменту для підвищення ефективності праці технолога та якості продукції, що випускається.

Матеріали, методи та технічні засоби: функціональне програмування, мови програмування AutoLISP, мова розробки діалогових вікон DCL, AutoCAD 2020, персональний комп'ютер з процесором 3 ГГц під управлінням операційної системи Microsoft Windows 7 та вище.

Результати. Створено сервісний застосунок для системи AutoCAD, який дозволяє автоматизувати процес розрахунку конструктивних параметрів черв'ячної зубонарізної фрези та формування кресленика її основних видів.

Висновки. Розроблено програмне забезпечення, яке прискорює процес автоматизованого проєктування, зменшує кількість помилок та підвищує таким чином якість оброблюваних деталей.

Галузь використання – виробництво інструменту для машинобудування, авіабудування та верстатобудування.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 90 pages, 31 figures, 13 tables, 2 appendixes, 24 sources.

COMPUTER AIDED DESIGN, AUTOCAD, SERVICE APPLICATION, WORM CUTTER, GEAR, DESIGN PARAMETER, DIALOGUE BOX.

Object of study is a process of computer-aided design of metal-cutting tools.

Subject of study are methods and tools of computer-aided design of a worm gear cutter.

The goal of the work is the development of software for automation of the process of designing cutting tools to increase the efficiency of the technologist work and the quality of products.

Materials, methods, and tools: functional programming, AutoLISP programming languages, DCL dialog development language, AutoCAD 2020, personal computer with processor 3 GHz running Microsoft Windows 7 and higher operating system.

Results. A service application for the AutoCAD system has been created, which allows automating the process of calculating the design parameters of a worm gear cutter and forming a drawing of its main views.

Conclusions. The software has been developed that speeds up the computer-aided design process, reduces the number of errors and thus improves the quality of machined parts.

The field of use is a production of tools for mechanical engineering, aircraft construction and machine tool construction.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Призначення та різновиди різального інструменту	10
1.2 Класифікація металообробних фрез	11
1.3 Аналіз особливостей черв'ячної зубонарізної фрези	13
1.4 Методика розрахунку черв'ячної зубонарізної фрези	16
1.4.1 Вихідні дані та розрахунок додаткових технологічних параметрів	18
1.4.2 Підбір конструктивних параметрів черв'ячної фрези	20
1.4.3 Методика проведення розрахунку профіля зубів фрези	24
1.5 Постановка задач дипломної роботи	30
2 ВИБІР СЕРЕДОВИЩА ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЮ РОЗРОБКИ СЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ	32
2.1 Огляд сучасних CAD/CAM-систем, що використовуються у машинобудівній галузі регіону	32
2.3 Вибір інструментарію розробки.....	38
2.4 Висновки до розділу 2.....	40
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	41
3.1 Призначення та функції програми.....	41
3.2 Аналіз вхідних даних	41
3.3 Схема алгоритму створення сервісного застосунку	43
3.4 Розробка структури сервісного застосунку	45
3.5 Опис особливостей програмної реалізації застосунку	47
3.6 Схема алгоритму роботи головної програми	49
3.6 Особливості організації інтерфейсу програми	51

4 КЕРІВНИЦТВО ПРОГРАМІСТА.....	56
4.1 Призначення та умови виконання програми	56
4.2 Характеристики програми	56
4.3 Звертання до програми.....	57
4.4 Вхідні та вихідні дані	60
4.5 Повідомлення	61
5 КЕРІВНИЦТВО КОРИСТУВАЧА.....	62
5.1 Призначення програми.....	62
5.2 Умови виконання програми.....	62
5.3 Виконання програми	63
5.4 Повідомлення про помилки.....	67
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69
Додаток А Текст програми	72
Додаток Б Слайди презентації.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

CAD	- Computer Aided Design;
CAE	- Computer Aided Engineering;
CAM	- Computer Aided Manufacturing;
DCL	- Dialog Control Language;
DXF	- Drawing eXchange Format;
LISP	- LISt Processing Language;
PDM	- Product Data Management;
ПЗ	- програмне забезпечення;
САПР	- система автоматизованого проєктування.

ВСТУП

На сьогоднішній день розвиток нової техніки інколи сповільнюється не через відсутність наукових досягнень та інженерних ідей, а через недотримання встановлених термінів та незадовільну якість реалізації на етапі конструкторсько-технологічної розробки. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є подальший розвиток систем автоматизованого проєктування (Computer Aided Design, CAD) та систем автоматизованої технологічної підготовки виробництва (Computer Aided Manufacturing, CAM).

Наявність різноманітного та якісного металорізального інструменту для машинобудівної галузі є запорукою якості кінцевої продукції. Але не завжди компанії-виробники пропонують на ринку потрібний інструмент з заданими параметрами та характеристиками. Тому, багато великих підприємств, зокрема Мотор Січ, мають власне інструментальне виробництво. Як показали проведені дослідження, конструктор-технолог витрачає дуже багато часу на вивчення та реалізацію методики розрахунку параметрів оригінального різального інструменту, а також побудову на основі отриманих даних креслеників навіть в середовищі CAD-системи. Це пов'язано з тим, що зазвичай систему потрібно адаптувати до задач конкретного підприємства та виду проєктованих виробів.

Тому, створення сервісного застосунку для CAD-системи, призначеного для зручного введення та розрахунку параметрів різального інструменту, з подальшим автоматизованим створенням креслеників є актуальною задачею.

Метою даної дипломної роботи є розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу проєктування різального інструменту для підвищення ефективності праці технолога та якості продукції, що випускається.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Призначення та різновиди різального інструменту

Інструменти вживаються при ручній і механічній обробці різного роду матеріалів в машинобудуванні, гірничій справі, в деревообробній промисловості, сільському господарстві, в медицині, в домашньому побуті та ін. Різальним інструментом називається та частина металорізальних верстатів, яка безпосередньо змінює форму оброблюваної деталі, наприклад, свердло для свердлильного верстату, різець для токарного верстату, фреза для фрезерного верстату [1].

На практиці зустрічаються різноманітні види різального інструменту. Хоча всі вони мають індивідуальні та специфічні особливості, тим не менш є велика кількість загальних геометричних і конструктивних елементів. Спільність геометрії різальних інструментів обумовлена в основному єдністю законів різання металів. Виділення загальних геометричних і конструктивних елементів для кожного різального інструменту, аналіз їх з урахуванням законів різання дозволяє при проєктуванні правильно вибрати їх величини і тим самим забезпечити вимоги, що пред'являються до різального інструменту [2]. Кожен різальний інструмент має дві функції:

- зрізання зайвого металу з заготовки, що передбачений заданим припуском;
- оформлення оброблюваної поверхні, тобто забезпечення правильної форми, точності розмірів і якості поверхні.

Таким чином, інструмент складається з двох окремих частин: одна для попередньої обробки, а інша - для остаточної, тобто калібрування [2].

Тобто основними частинами різального інструменту є різальна та калібруюча. У інструментів для обробки отворів або різьблення ці частини яскраво виражені. У деяких інструментів, наприклад ратфілів або зубообробних інструментів, що є безпосередньо об'єктом проєктування даної дипломної роботи, ці частини не виділяють.

Кожна складова частина зазвичай включає ряд конструктивних елементів, призначених для виконання однієї або декількох певних функцій в процесі обробки різанням. До основних конструктивних елементів інструменту відносяться:

- зуби, що несуть на собі різальні елементи;
- канавки, призначені для вміщення та відведення стружки;
- стружкозломлювачі та стружкозавивачі, призначені для полегшення відведення стружки;
- канали для охолодження, що підводять мастильно-охолоджуючу рідину до різальних елементів;
- елементи кріплення інструменту та елементи баз при виготовленні, контролі та переточуваннях інструменту [2].

1.2 Класифікація металообробних фрез

Фреза є одним з найпоширеніших інструментів у металообробній промисловості [2]. Жоден з інструментів не надає такої різноманості типів, форм і призначення, як фреза. Величезна перевага полягає в тому, що фреза дозволяє виконувати фасонну обробку деталей, причому для цього не потрібно ні складної установки, ні високої кваліфікації робітника [3].

Фрези застосовуються для обробки плоских і фасонних поверхонь. Всі типи фрез класифікують наступним чином [4]:

а) за призначенням:

- 1) фрези загального призначення;
- 2) фрези затиловані;

б) за формою задньої поверхні зубів:

- 1) фрези з гострозаточеними зубами;
- 2) фрези затиловані;

в) за формою зубів:

- 1) з прямими зубами;

- 2) з гвинтовими зубами;
- г) за способом кріплення:
 - 1) фрези насадні;
 - 2) фрези кінцеві (з циліндричним або конічним хвостовиком);
- д) за конструкцією інструменту:
 - 1) цілісні;
 - 2) складові;
 - 3) збірні зі вставними зубами [4].

Автори [1] наводять трохи іншу класифікація фрез згідно наведених нижче ознак.

За конструкцією зубів:

- а) фрези з гострими зубами;
- б) фрези з затилованими зубами:
 - 1) з нешліфованим профілем;
 - 2) зі шліфованим профілем (для обробки зубчастих коліс).

За розташуванням зубів щодо осі фрези:

- а) фрези циліндричні з зубами, розташованими по поверхні циліндра;
- б) фрези кутові (конічні) з зубами, розташованими на конусі;
- в) фрези торцеві з зубами, розташованими в площині, перпендикулярній до осі фрези;
- г) фрези фасонні із зубами, розташованими на поверхні з криволінійною утворюючою.

За формою зубів:

- а) фрези з прямими зубами;
- б) фрези з гвинтовими зубами;
- в) фрези з кутовими зубами;
- г) фрези з викривленими зубами.

За профілем зубів:

- а) фрези різьбонарізні;
- б) фрези зубонарізні дискові та пальцеві;

- в) фрези зубонарізні черв'ячні;
- г) фрези для канавок інструментів [1].

Різноманіття геометричних форм та конструктивних особливостей фрез спричиняє проблеми їх розрахунків та проєктування у встановлені терміни з заданою якістю.

1.3 Аналіз особливостей черв'ячної зубонарізної фрези

Предметом дослідження даної дипломної роботи є процес автоматизованого проєктування черв'ячної зубонарізної фрези з затилованими (зі шліфованим профілем) зубами, що використовується безпосередньо для обробки циліндричних зубчастих коліс (рис.1.1).

Метод зубофрезерування черв'ячними фрезами є високопродуктивним й універсальним, набув широкого поширення у всіх видах виробництва для обробки циліндричних і черв'ячних коліс. Обробку роблять безперервно, за методом обкатки. На відміну від дискових і пальцевих фрез одна черв'ячна фреза може обробляти колеса з будь-яким числом зубів даного модуля [5].

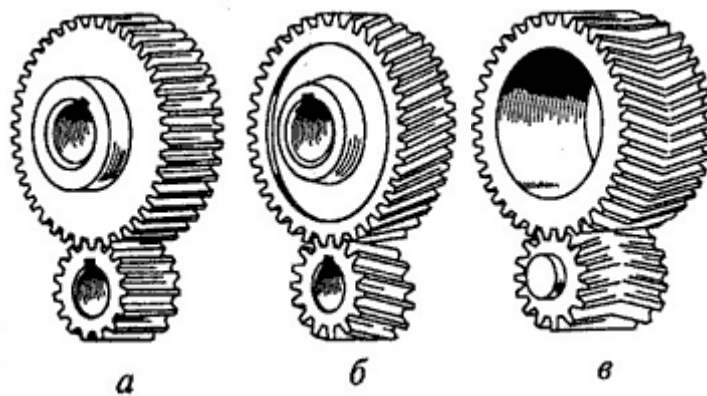


Рисунок 1.1 – Циліндричні зубчаті колеса (а – прямозубі, б – косозубі, в – шевронні) [6]

Черв'ячну фрезу як інструмент отримують з черв'яка, одно-дво-або багатозахідного, шляхом прорізання уздовж осі профільних стружкових канавок, що утворюють передню поверхню зубів і простір для розміщення

стружки та затилювання зубів для створення задніх кутів по всьому контуру (рис.1.2) [7].

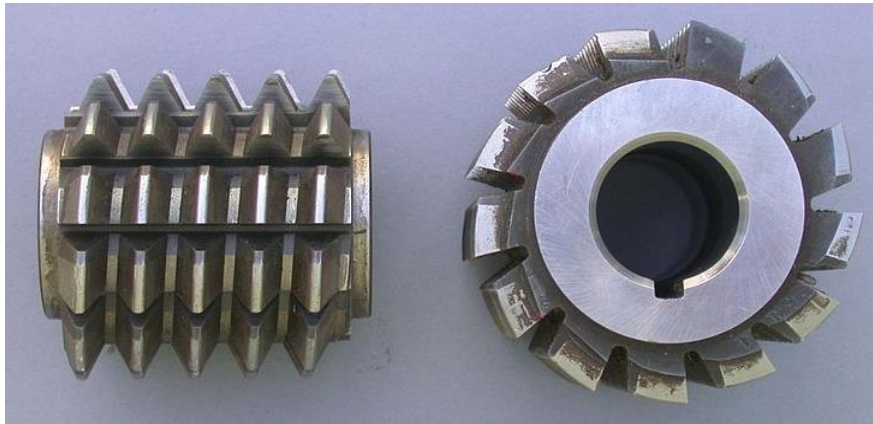


Рисунок 1.2 – Евольвентна черв'ячна фреза [7]

Черв'ячні фрези завдяки своїй універсальності, високій продуктивності та точності обробки, знаходять найбільш широке застосування при виготовленні циліндричних коліс (з прямими і косими зубами). Також використовуються для нарізування черв'ячних коліс з різними видами зачеплення й шліцьових валів. Ріжучі кромки фрези, розташовані по гвинтовій лінії, при обертанні виконують поступальний рух рейки, необхідний для огинання зубів, що нарізаються.

За конструкцією розрізняють черв'ячні фрези [8]:

- монолітні, виконані цілком з однієї заготовки;
- збірні, у яких зубці виконуються з ріжучого матеріалу.

Форма профілю зубів фрез залежить від форми профілю зубів коліс, що нарізаються (евольвентна, циклоїдальна, тощо) [8]. У даній роботі розглядаються черв'ячні фрези для нарізування коліс з евольвентним профілем зубів (рис.1.3, рис.1.4).

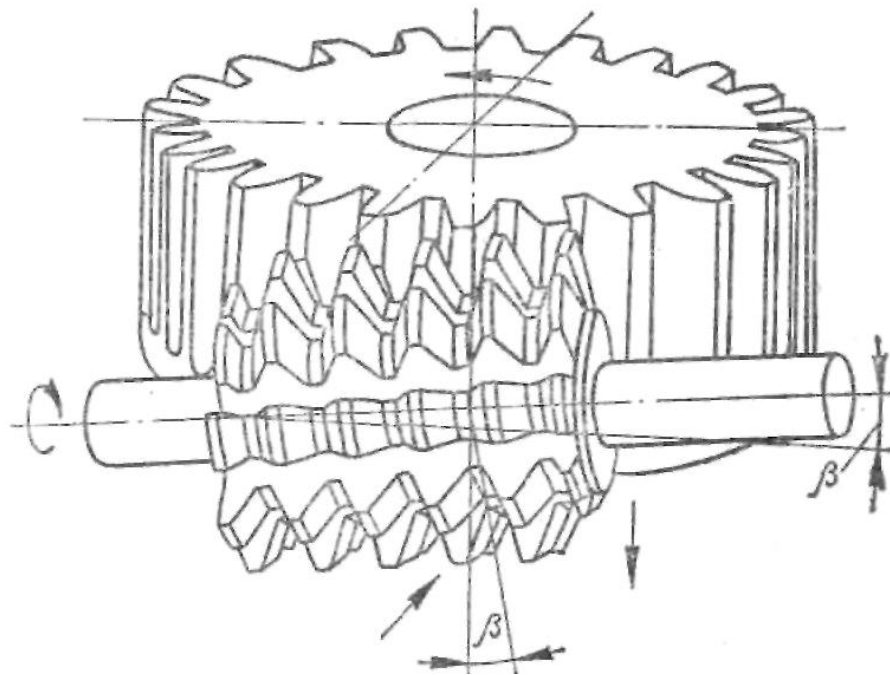


Рисунок 1.3 – Принцип обробки зубчастого колеса черв'ячною фрезою [9]

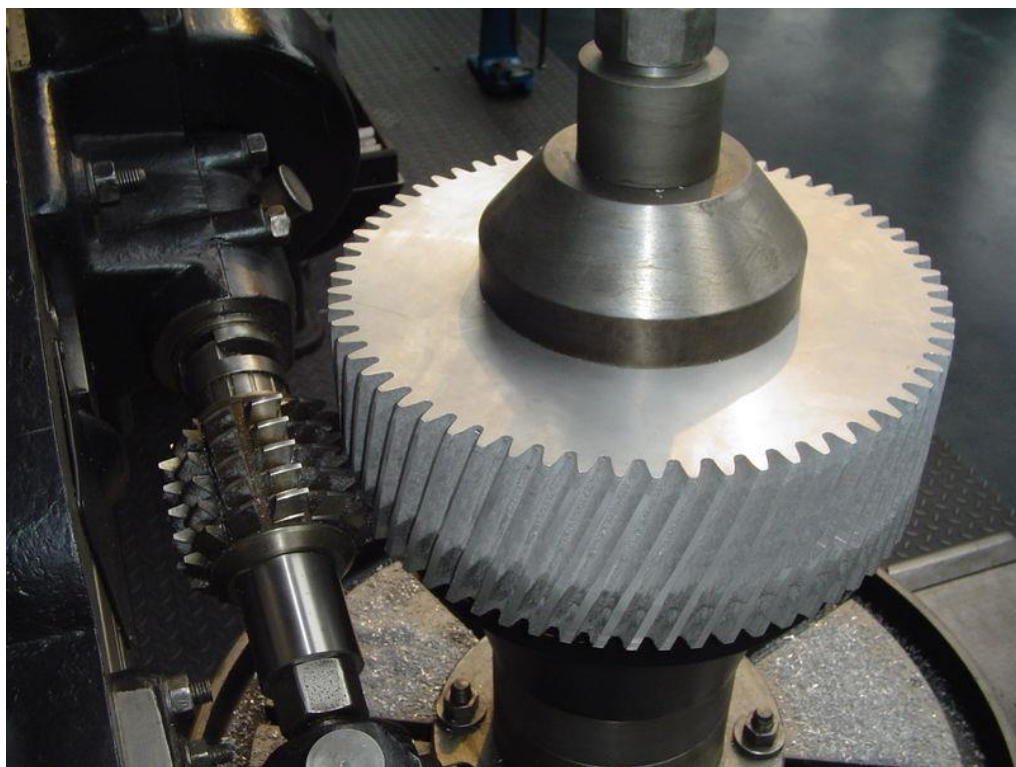


Рисунок 1.4 – Нарізання зубчастого колеса на зубофрезерному верстаті за допомогою черв'ячної фрези [7]

1.4 Методика розрахунку черв'ячної зубонарізної фрези

Розрахунок черв'ячної фрези складається з декількох етапів, які виконуються в певній послідовності. Схему алгоритму методики розрахунку параметрів інструменту наведено на рис. 1.5.

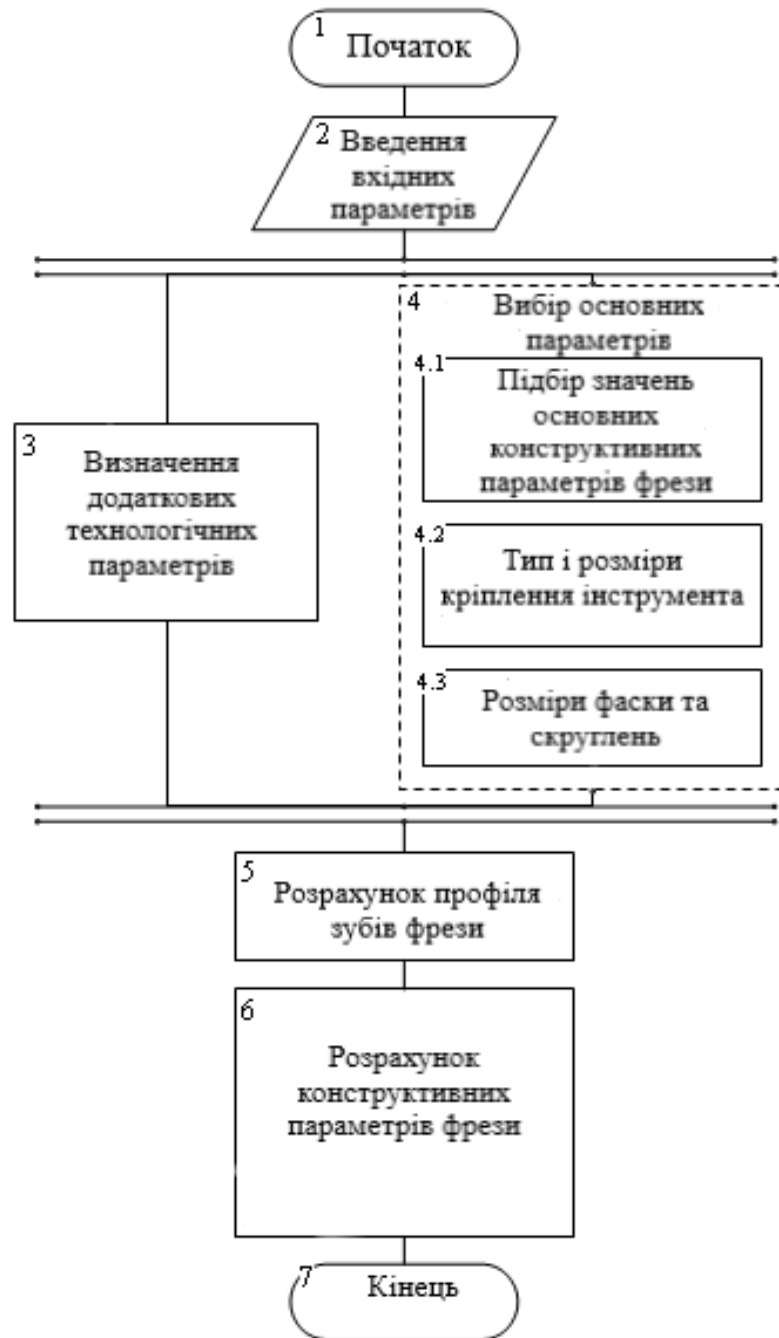


Рисунок 1.5 – Схема алгоритму методики розрахунку конструктивних параметрів черв'ячної фрези

Блок 1. Початок.

Блок 2. Введення вхідних параметрів зубчастого колеса (див. п.1.5.1).

Блоки 3. На даному етапі розрахунків визначаються додаткові технологічні параметри зубчастого колеса. За основу приймається методика представлена в [10] (див. п. 1.5.1, табл.1.2).

Блок 4. Даний блок відповідає за визначення основних конструктивних параметрів фрези. На схемі він розділений на 3 підблоки.

Блок 4.1 Здійснює підбір табличних значень основних конструктивних параметрів фрези, виходячи з вихідних даних майбутньої деталі, за [11] (див.п. 1.5.2).

Блок 4.2 Передбачає вибір значень елементів кріплення інструменту за [12].

Блок 4.3 Виконує вибір відповідних розмірів фасок та скруглень за [13].

Блоки 3 та 4 можуть виконуватися незалежно один від одного. На схемі це показано за допомогою горизонтальних паралельних ліній, що показує паралельність виконання даних дій. Результати їх виконання необхідні для виконання блоків 5 і 6.

Блок 5. Розрахунок елементів профілю зубів інструмента в нормальному перетині, ґрунтуючись на результаті виконання блоку 3.

Блок 6. Розрахунок конструктивних параметрів фрези (див. п.1.5), таких як:

- задній кут на вершині зуба фрези;
- падіння затилку на задній частині зуба інструмента;
- кут підйому лінії витка.

Далі в наступний пунктах етапи даного алгоритму буде розглянуто більш докладно.

1.4.1 Вихідні дані та розрахунок додаткових технологічних параметрів

Вихідними даними для методики виступають параметри оброблюваного колеса:

- число зубів оброблюваного колеса, z ;
- модуль, m ;
- кут профілю на ділильному діаметрі, α ;
- коефіцієнт висоти голівки зуба, h_a^* ;
- гранична висота зуба h_1^* і ніжки зуба h_f^* .

Діапазон значень даних параметрів і необхідні умови їх вибору наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні параметри деталі

Найменування параметру	Позначення	Обмеження
Модуль колеса	m	1,25 – 10 mm
Число зубів колеса	z	$Z > Z_{\min} = \frac{2 \cdot h_a^*}{\sin^2 \alpha}$
Кут профілю нормального вихідного контуру	α	20°-25°

Вихідні дані повинні включати мінімально необхідну та достатню інформацію для процесу проектування. Додаткові вихідні дані визначаються в кожному конкретному випадку за своїми розрахунковими залежностями. До них відносяться:

- визначення розрахункових розмірів профілю деталі з урахуванням допусків;
- розрахунок вихідної інструментальної рейки для інструменту, що працює за методом обкатки;
- визначення додаткових розмірів деталі, яких бракує для розрахунку інструменту та т.д.

Додаткові технологічні параметри зубчастих коліс:

- діаметр ділильної окружності, d ;
- діаметр вершин зубів колеса;
- діаметр впадин зубів колеса;
- товщина зуба колеса, що нарізається, на ділильному діаметрі;

На основі наявних вихідних даних (табл.1.1), визначаються всі параметри деталі, що залишилися, які необхідні для розрахунку інструменту. Для їх розрахунку застосовуються методи розрахунку геометричних параметрів зубчастої передачі та геометричних параметрів зубчастих коліс, які описані в [10]. Найменування параметрів, формули і позначення наведені в таблиці 1.2 [10].

Таблиця 1.2 – Методика розрахунку додаткових параметрів

Найменування параметру	Позначення	Розрахункові формули та умови	Коментарі
Крок зубів деталі	P_n	$P_n = \pi \cdot m$	
Діаметр ділильної окружності	d	$d = \frac{z \cdot m}{\cos \beta}$	$\beta = 0$ – кут нахилу
Діаметр окружності вершин	d_a	$d_a = d + h_a^* \cdot m$	h_a^* – коефіцієнт голівки, $h_a^* = 1$
Діаметр окружності впадин	d_f	$d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c - x_2) \cdot m$	c – радіальний зазор, $c = 0,25m$ x_2 – коефіцієнт зміщення
Товщина зуба по дузі ділильної окружності	$S_{n\phi}$	$S_{n\phi} = m \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right),$ $S_{n\phi} = m \cdot \frac{\pi}{2}$	

1.4.2 Підбір конструктивних параметрів черв'ячної фрези

Основні конструктивні параметри фрези можуть визначатися конкретними умовами застосування на верстаті насадних черв'ячних фрез. За відсутності спеціальних умов параметри рекомендується задавати на підставі [11] (рис. 1.6).

Основними конструктивними параметрами черв'ячної фрези є:

- кількість заходжень;
- зовнішній діаметр фрези;
- довжина фрези;
- діаметр отвору під оправку;
- кількість зубів (канавок);
- форма і напрямок канавок.

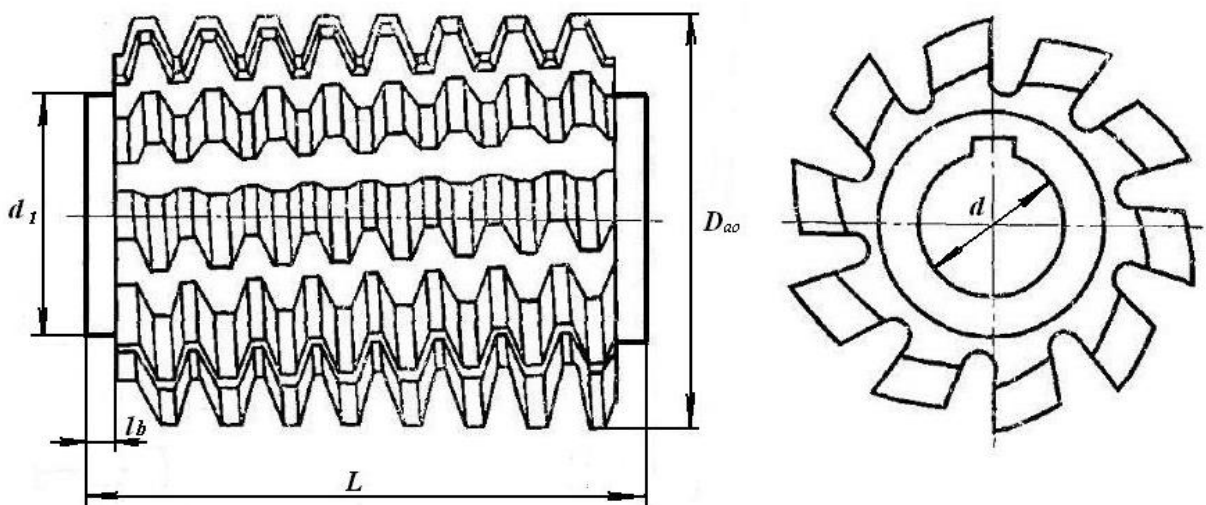


Рисунок 1.6 – Основні конструктивні параметри фрези [11]

Зовнішній діаметр фрези приймається за нормальми і стандартами з урахуванням паспортних даних зубофрезерного верстата, або ж задають кут підйому витків вихідного черв'яка, визначають ділильний, а потім зовнішній діаметри фрези.

При визначенні діаметра треба враховувати наступні суперечливі особливості: з одного боку, чим більше діаметр фрези, тим краще, оскільки підвищуються точність і продуктивність обробки; з іншого боку, зі збільшенням діаметра фрези вона стає дорожчою, збільшуються крутний момент і довжина врізання в заготовку [14].

Кількість заходжень фрези впливає на показники точності та продуктивності. Поки що однозахідні фрези використовуються частіше. Багатозахідні фрези рекомендуються для попередньої обробки зубчастих коліс, оскільки вони забезпечують вищу продуктивність [8].

Кількість заходжень. При збільшенні кількості заходжень фрези відповідно збільшується швидкість руху обкату заготовки та зменшується час нарізування зубів. Тим не менш, при цьому збільшення числа заходжень фрези призводить до збільшення похибок кроку зубів через похибки поділу на заходження при виготовленні інструменту, збільшується кут установки осі фрези і збільшуються похибки процесу обробки. Для зменшення огранки кількість заходжень фрези не повинна мати загальних множників з кількістю зубів фрези колеса, що нарізається [8].

Діаметр фрези. Для збільшення точності профілю зубів колеса, що нарізається, і підвищення продуктивності обробки слід застосовувати фрези можливо більшого діаметра. Зі збільшенням діаметра фрези:

- зменшується кут підйому витків фрези, що добре позначається на зменшенні похибок конструкції фрези;
- зменшується висота гребінців, які утворюються при обробці вздовж зубів колеса;
- збільшується число зубів по окружності фрези, що покращує умови різання й відводу стружки;
- з'являється можливість збільшення діаметра отвору, а отже, й діаметра оправки, що забезпечує більшу жорсткість кріплення інструмента та можливість підвищити режими різання; поліпшуються умови охолодження різальних крайок [8].

Однак з підвищенням діаметра фрези збільшуються витрати матеріалу на її виготовлення (підвищення вартості), кут контакту зубів фрези з оброблюваною поверхнею, крутний момент при тих же режимах обробки, довжина й час врізання, а отже, і тривалість фрезерування [8].

Орієнтовно діаметр фрези може бути визначений, виходячи з бажаної величини кута підйому витків, який для зменшення похибок і поліпшення чистоти обробки повинен бути якомога менше (не більше 3°). Згідно з [11], встановлені діаметри фрез для $m=1,5\div 10$ мм, $d_{ao}=63-125$ мм.

При виборі діаметра фрези слід враховувати глибину канавки H_k , діаметр отвору d та розмір тіла корпусу фрези p . Необхідно, щоб виконувалася нерівність (1.1) або (1.2):

$$d_{ao} \geq 2 \cdot H_k + 2 \cdot p + d \quad (1.1)$$

$$d_{ao} \geq 2 \cdot H_k + 2 \cdot p + d \quad (1.2)$$

де t_1^1 - розмір заділки шпонки за [12].

Товщина тіла фрези повинна бути достатньою для забезпечення міцності фрези; вона приймається не менше 0,25-0,30 діаметра отвору (d).

Діаметр отвору. Отвір служить для кріплення і базування фрези на оправці. Для збільшення жорсткості кріплення діаметр отвору слід брати якомога більше. Його приблизна величина визначається за формулою (1.3):

$$d = (0,20 \div 0,45) d_{ao} \quad (1.3)$$

Розмір діаметра отвору повинен бути вибраний з нормального ряду діаметрів отворів насадного інструменту [12].

Довжина фрези повинна забезпечити правильне профілювання зубів колеса і попереднє вирізання металу із западини без перевантаження крайніх

зубів. Довжини фрез загального призначення приведені в [11]. Цілісні фрези загального призначення можуть робитися двох розмірів: довгі і короткі [8].

З боків фрези роблять буртики шириною $l_6 = 3 \div 5$ мм і діаметром на 1-2 мм менше окружності, що проходить через дно канавки фрези. Поверхня буртиков виконується строго концентрично з витками основного черв'яка, що проходить крізь ріжучі кромки фрези, й служить для контролю відсутності биття фрези при установці на зубофрезерні верстати. Контролювати правильність установки по задній поверхні зубів не можна через затилування форми їх задньої поверхні [1].

Кількість і форма зубів і канавок фрези. Від кількості рядів зубів (рейок) твердосплавної черв'ячної фрези залежить її працездатність і надійність. Кількість рядів зубів впливає на товщину зрізів, які формують профіль зубів колеса, на висоту гребінців, які утворюються в процесі обробки, на товщину стружки, що знімається кожним зубом фрези. При великій кількості рядів зубів товщина зрізу має малу величину, що ускладнює процес різання, призводить до зростання тертя задніх поверхонь і підвищеного виділення тепла в зоні різання. При малій кількості рядів зубів товщина зрізів різко зростає, що призводить до зростання навантаження на зуби і їх поломки [1].

Таким чином, з урахуванням оптимальних товщин зрізів для фрез кожного модуля число рядів зубів має залежати, крім модуля, від числа зубів колеса, що нарізається, напрямку зубів, подачі інструменту та деяких інших чинників. Крім того, кількість рядів зубів фрези впливає на кількість різів, які формують профіль зубів колеса (огранювання й висоту гребінців, які утворюються в процесі обробки). Кількість рядів зубів залежить також від прийнятої схеми різання [1].

Для фрез черв'ячних універсального призначення кількість зубів встановлено в межах 12-9 (табл. 1.3).

При виборі елементів зуба слід враховувати можливості шліфування його профілю.

Таблиця 1.3 – Кількість зубів в залежності від модуля m

Значення модуля, m	1 - 2,75	3 - 6	6,5 - 12
Кількість зубів, Z_o	12	10	9

Глибина канавки H_k черв'ячних фрез зі шліфованим профілем при наявності другого затилювання поверхні зуба розраховується за формулою (1.4):

$$H_k = H_0 + \frac{k + k_1}{2} + r_1 \quad (1.4)$$

де k , k_1 – величини затилювання першої шліфованої частини та другої нешліфованої частини зуба;

r_1 – радіус скруглення дна канавки;

H_0 – висота зуба фрези [1].

Кут канавки $\nu=20\div30^\circ$, радіус скруглення $r_1=1\div3$ мм. Форма зуба та канавки перевіряються контрольним кресленням.

Передній кут на вершині зуба зазвичай приймається рівним $\gamma_e = 0^\circ$. Звідси випливає, що передня поверхня є гвинтовою архимедовою поверхнею [1].

Форма профілю зубів фрез залежить від форми профілю зубів нарізаються коліс.

1.4.3 Методика проведення розрахунку профіля зубів фрези

Подальший розрахунок геометричних та конструктивних параметрів інструменту залежить від особливостей профілювання зубів фрези, пов'язаних з умовами використання інструменту (тип деталі, що виготовляється) [15].

Список параметрів фрези наступний:

- висота профілю зуба фрези;
- радіус заокруглення бічної та вершинної крайок зуба фрези;
- товщина лінії зубів в нормальному перетині на ділильній прямій;
- висота зуба фрези (глибина стружкової канавки);
- канавка по дну впадини між зубами;
- радіус заокруглення в основі стружкової канавки;
- середній розрахунковий діаметр фрези;
- кут нахилу гвинтової лінії.

Для правильного зачеплення косозубих коліс, їх зуби повинні правильно зчіплюватися з однією і тією ж просторовою рейкою (типу вихідного контуру). Для цього необхідно, щоб в перетині, нормальному до напрямку зубів рейки, у обох коліс були рівні кроки й кути профілю.

На рис. 1.7 показано базові параметри: h_1'' - висота ніжки зуба колеса, h_1' - висота голівки зуба колеса, h_u'' - висота ніжки зуба фрези, h_u' - висота голівки зуба фрези.

Фреза в перетині, нормальному до напрямку витків на середньому ділильному циліндрі, повинна мати крок зубів P_{no} і кут профілю α_n , відповідно рівні кроку P_n і куту профілю α_{no} нормального перетину колеса, що нарізається, по його ділильній окружності [8], що визначається наступними виразами:

$$P_n' = P_{no}, \alpha_n' = \alpha_{no}, m_n' = m_{no} \quad (1.5)$$

Тому, перш ніж розраховувати значення всіх необхідних конструктивних елементів фрези, необхідно отримати вихідні дані колеса, що нарізається, які мають включати мінімально необхідну та достатню інформацію для процесу проєктування.

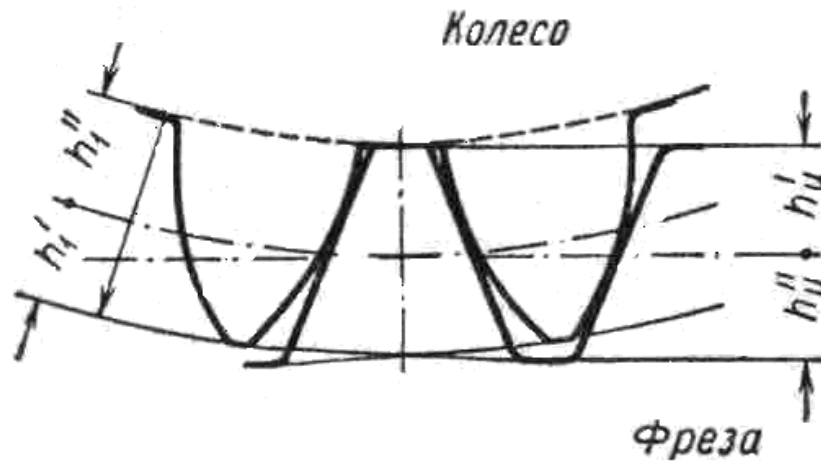


Рисунок 1.7 – Розміри профіля зубів фрези [8]

Додаткові вихідні дані визначаються в кожному конкретному випадку за своїми розрахунковим залежностям.

Товщина зуба фрези по лінії обкатки (початкової прямої) S_{onw} дорівнює ширині впадини колеса по ділильній окружності або визначається як різниця кроку P_n та товщини зуба S_{nf} колеса, що нарізається, по ділильній окружності за формулою (1.6):

$$S_{onw} = \pi \cdot m - S'_{nf}, \quad (1.6)$$

де m – модуль колеса (фрези).

Голівка зуба фрези обробляє ніжку зуба колеса. Тому, висота голівки зуба фрези h_{ow} дорівнює висоті ніжки зуба колеса та визначається як:

$$h_{ow} = \frac{d' - d'_f}{2} + \Delta h_{ow}, \quad (1.7)$$

де d – ділильний діаметр;

d_f – діаметр впадин;

$\Delta h_{ow} = 0,085$ – приймається конструктором в залежності від допуску.

Ніжка зуба фрези обробляє голівку зуба колеса. Щоб основа впадини зубів фрези не обробляла зовнішню поверхню зубів колеса, між ними передбачається зазор, величина якого визначається значенням коефіцієнта C_u . Повна висота профілю зубів фрези дорівнює:

$$H_0 = h_{ow} + \frac{d'_a - d'}{2} + C_u, \quad (1.8)$$

де $C_u = 0.35 \cdot m$ у фрез для коліс зі стандартними розмірами зубів;

d_a – діаметр окружності вершин колеса.

Товщина зуба фрези на вершині обчислюється на основі раніше розрахованих параметрів S_{onw} и h_{ow} :

$$S_{aon} = S_{onw} - 2 \cdot h_{ow} \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (1.9)$$

де α_n – кут профілю зуба фрези.

Максимальний радіус, що вписується на вершині зуба фрези, визначається за формулою (1.10):

$$\rho_{aomax} = \frac{S_{aon} - d_{sao}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ - \alpha_{on}}{2}\right)}, \quad (1.10)$$

де S_{aon} - товщина зуба фрези на вершині;

d_{sao} – величина, що визначається як $d_{sao} = 0,2 \cdot S_{aon}$.

Задні кути на вершині та на бічних сторонах зуба забезпечуються шляхом затилування зубів по Архімедовій спіралі. Коефіцієнт затилування залежить від значення заднього кута на вершині. Дана залежність знаходиться за формулою (1.11):

$$K_{\text{шл}} = \frac{\pi * d_{ao}}{z_o} * \operatorname{tg} \alpha_b, \quad (1.11)$$

де z_o – кількість стружечних канавок;

α_b – задній кут на вершині зубів фрези, що розраховується як $\alpha_b = 10^0 \dots 12^0$.

Падіння затилку додаткового затилювання (здійснюваного за допомогою різця до термічної обробки) розраховується за формулою (1.12).

$$K_1 = (1.5 - 2) \cdot K \quad (1.12)$$

Задній кут фрез з затилованими зубами утворюється по дотичній до напрямку різання і дотичній до кривої, що утворює задню поверхню зуба фрези. На рис. 1.8 показано: K – падіння затилку, α – задній кут на вершині зубів, що дорівнює α_b .

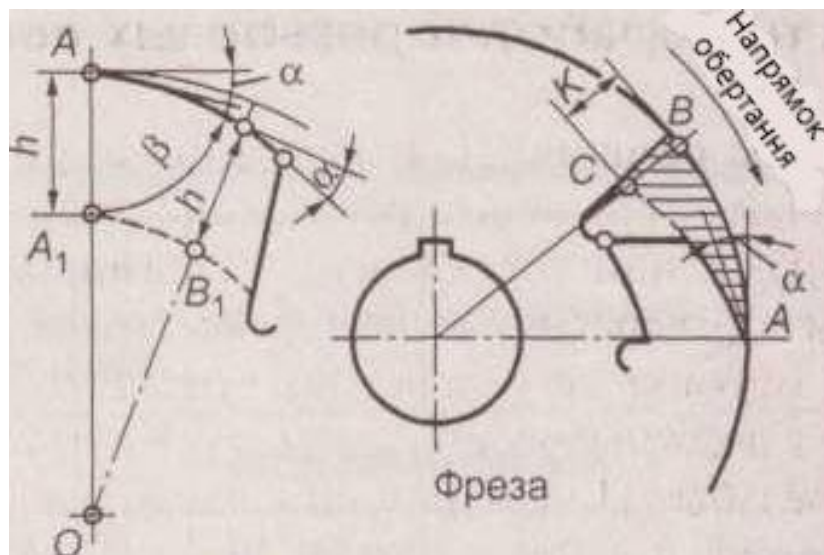


Рисунок 1.8 – Падіння затилку зуба фрези [8]

Середній розрахунковий діаметр фрези є умовним, необхідним для розрахунку фрези. За ним визначаються кути нахилу поздовжньої канавки, кут підйому витків фрези та інші величини. По мірі переточувань, зі

зменшенням діаметра фрези зменшується й дійсний середній діаметр профілю зубів, а отже, змінюються кут підйому витків фрези τ і кут нахилу поздовжньої канавки фрези β . Для зменшення відхилень фактичних розмірів τ , β від розрахункових, середній діаметр фрези при її проєктуванні приймається в перетині, віддаленому від передньої поверхні на 0,1-0,25 окружного кроку за формулою (1.13):

$$d_{ow} = d_{ao} - 2 \cdot h_{aow} - 2 \cdot \sigma \cdot K_{ил}, \quad (1.13)$$

де σ – коефіцієнт, що приймається в межах $\sigma = 0,1 \div 0,25$ (згідно з [11] може бути прийнятий $\sigma = 0,15$).

Радіус заокруглення в основі стружкової канавки: (1.14):

$$r = \pi(d_{ao} - 2 \cdot H_k) / 10 \cdot z_0, \quad (1.14)$$

де z_0 – кількість зубів фрези в торцевому перетині;

d_{ao} – зовнішній діаметр фрези.

Висота стружкової канавки розраховується за формулою (1.15):

$$h_{kc} = H_0 + K_{ток} + r_{ск}, \quad (1.15)$$

де $K_{ток} = 1,4 \cdot K_{ил}$;

$R_{ск}$ – радіус скруглення дна стружечних канавок.

Розрахувавши значення висоти стружкових канавок, знаходимо діаметр стружкових канавок за формулою (1.16):

$$d_{kc} = d_{ao} - h_{kc} \quad (1.16)$$

Діаметр пасків повинен бути завжди менше діаметра стружкових канавок, тобто $d_1 < d_{kc}$.

Кут підйому лінії витка фрези розраховується за формулою (1.17):

$$\sin \gamma_0 = \frac{m_n}{d_{ow}}, \quad (1.17)$$

де D_{ow} – середній розрахунковий діаметр.

1.5 Постановка задач дипломної роботи

Як показали проведені дослідження, черв'ячна зубонарізна фреза широко використовується в машинобудуванні для виготовлення зубчастих коліс. Дуже часто цей інструмент проєктується індивідуально для деталі, яка обробляється, що потребує організації процесу конструкторсько-технологічного проєктування з урахуванням специфіки об'єкта проєктування.

Зазвичай, конструктор вручну виконує розрахунок додаткових вихідних параметрів колеса, підбір відповідних значень конструктивних параметрів фрези за стандартами, розрахунок параметрів профілю зубів в нормальному перетині, на основі вихідних і розрахункових даних колеса. Далі в CAD-системі виконується розробка кресленика для виготовлення інструмента.

Даний підхід до організації процесу проєктування вимагає додаткових витрат часу, зокрема на аналіз зв'язків між вихідними параметрами та стандартною методикою. При цьому зростає ймовірність виникнення помилок. Крім цього, якщо зміниться всього один з вихідних параметрів, розрахунок доведеться проводити заново. Тому, тема даної дипломної роботи є актуальною.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу проектування різального інструменту для підвищення ефективності праці технолога та якості продукції, що випускається.

Задачі дипломної роботи:

- виконати вибір середовища проектування та інструментарію розробки сервісного застосунку для автоматизованого проектування різального інструменту;
- виконати програмну реалізацію сервісного застосунку для розрахунку конструктивних параметрів та креслення основних видів різального інструменту;
- розробити графічний інтерфейс сервісного застосунку для зручного діалогу з конструктором-технологом;
- розробити програмну документацію.

2 ВИБІР СЕРЕДОВИЩА ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЮ РОЗРОБКИ СЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ

2.1 Огляд сучасних CAD/CAM-систем, що використовуються у машинобудівній галузі регіону

Проектування займає одне з ключових місць в ході розробки промислових виробів. Можливості сучасних інформаційних технологій дозволяють вдосконалити цей процес, використовуючи сучасні CAD/CAM-системи. У машинобудуванні CAD/CAM-системи використовуються для проведення конструкторських та технологічних робіт, а саме розробки креслеників, тривимірного моделювання та складання виробів, проектування інструменту та допоміжного оснащення, розробки технологічної документації та керуючих програм для верстатів з числовим програмним управлінням.

На даний момент для інженерів галузі машинобудування існує велика кількість проєктних середовищ, що вирішують різні задачі. В залежності від комплексності автоматизації їх умовно класифікують наступним чином:

- системи «легкої ваги», наприклад AutoCAD;
- системи «середньої ваги», наприклад SolidWorks, Компас;
- системи «тяжкої ваги», наприклад PTC Creo, CATIA.

Відомою системою, що використовується багатьма підприємствами регіону є Компас [16]. Основними перевагами Компас є наступні:

- велика кількість бібліотек елементів, стандартизованих за ГОСТ;
- зручність оформлення практично будь-яких креслеників згідно норм, встановлених ЄСКД;
- широкі можливості для параметризації об'єктів;
- зручний інтерфейс користувача.

Проте суттєвим недоліком системи є те, що її налаштування під потреби підприємства є досить складним, крім того є проблеми при імпортуванні моделей з інших CAD-систем. На рис. 2.1 зображено приклад інтерфейсу системи КОМПАС.

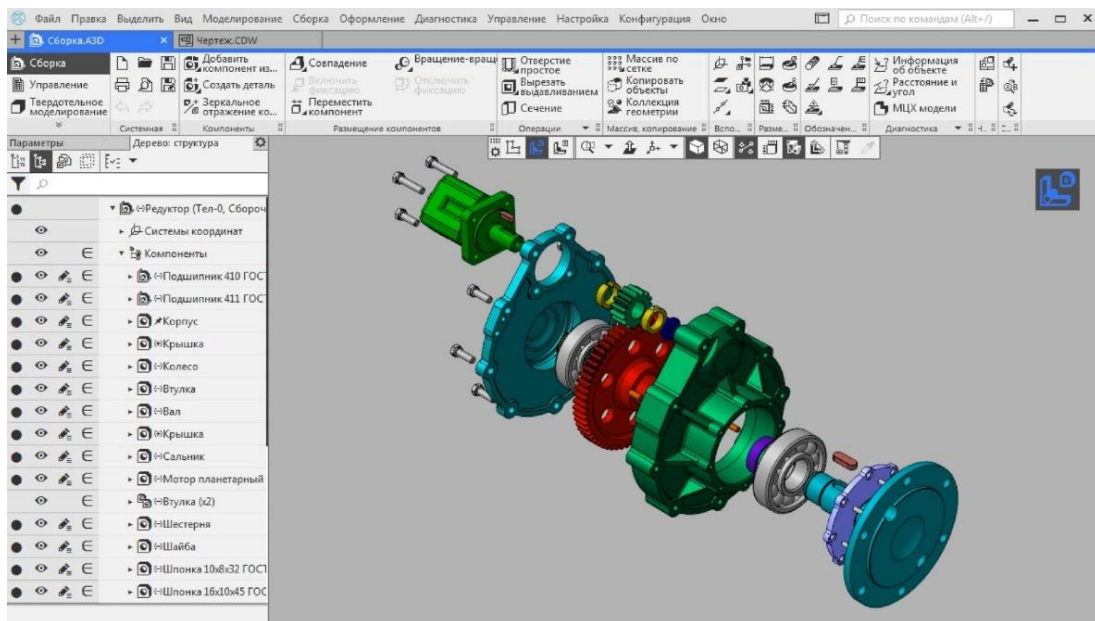


Рисунок 2.1 – Пример интерфейсу системы КОМПАС [16]

SolidWorks – програмний комплекс для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності та призначення. SolidWorks використовує ядро Parasolid [17]. На рис. 2.2 зображено приклад інтерфейсу пакету SolidWorks.

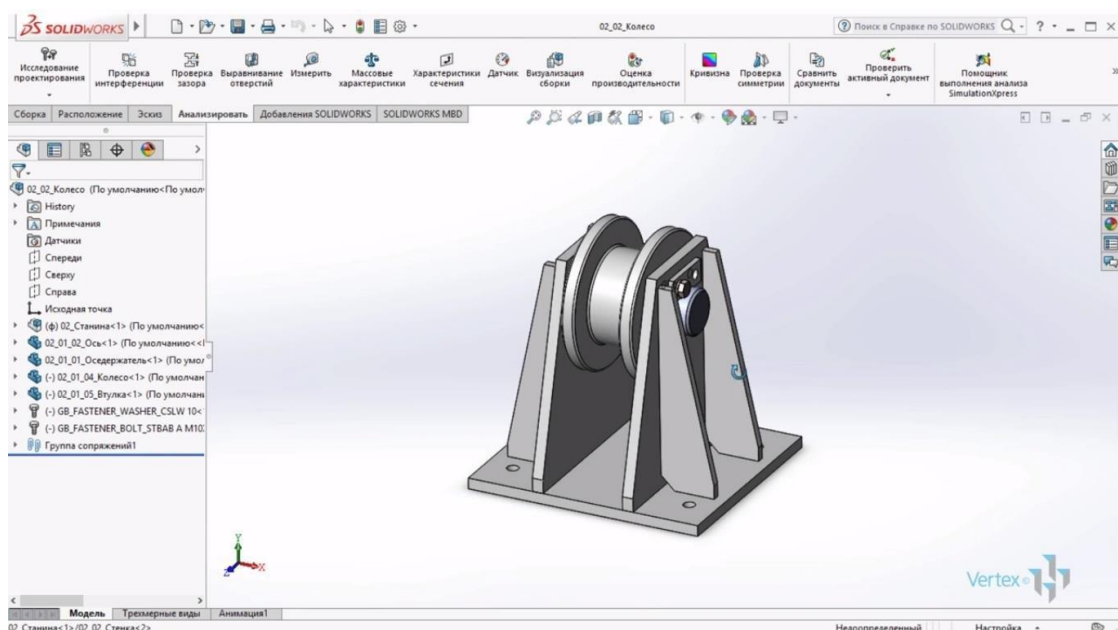


Рисунок 2.2 – Пример интерфейсу пакету SolidWorks [17]

Серед недоліків можна виділити не завжди коректне автоматичне проставлення розмірів.

PTC Creo – інтегрована CAD/CAM/CAE/PDM-система, що надає повний набір можливостей проектування, аналізу та виготовлення на одній масштабованій платформі [18]. Дана система є однією з найкращих та має певні переваги завдяки наявності різних модулів, а її налаштування досить гнучкі для урахування специфіки підприємства.

Недоліком системи можна вважати візуально складний і не завжди зрозумілий інтерфейс користувача. Крім того, специфіка оформлення креслеників орієнтована під західну систему стандартів, що спричиняє певні проблеми. На рис. 2.3 зображено приклад інтерфейсу системи PTC Creo.

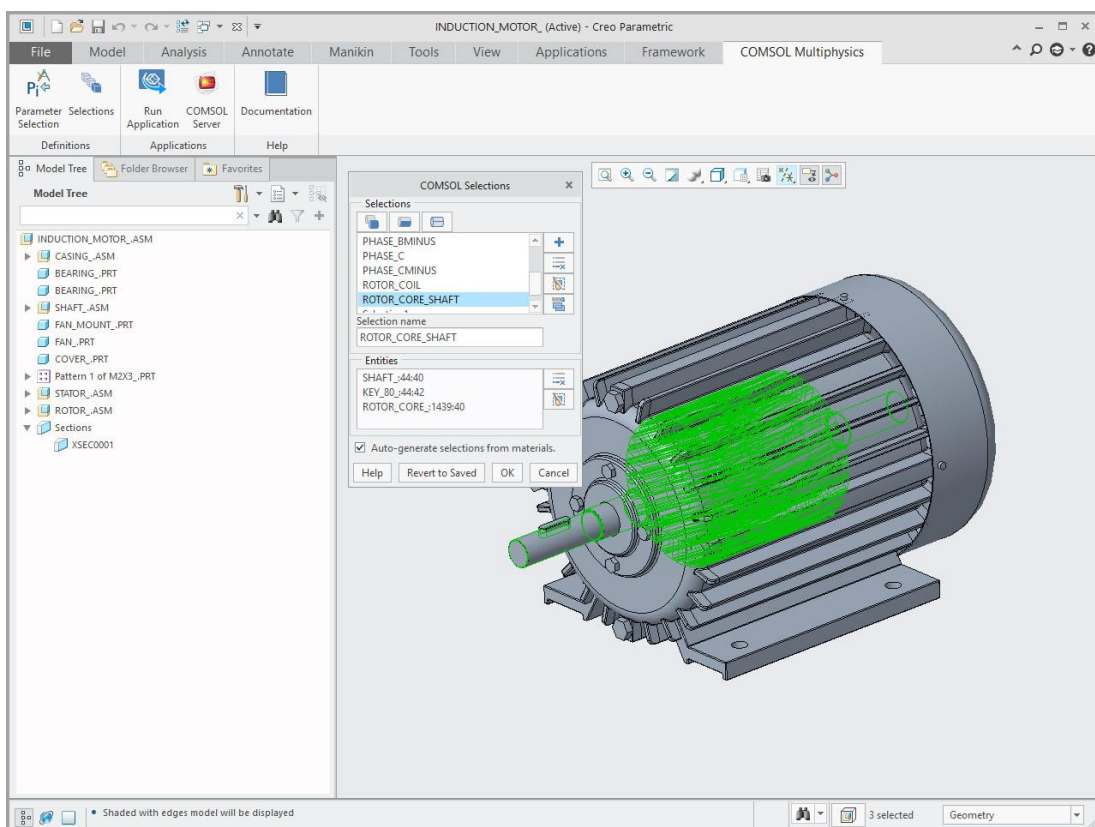


Рисунок 2.3 – Приклад інтерфейсу системи PTC Creo [18]

2.2 Призначення та функціональні можливості системи AutoCAD

AutoCAD – це популярна серед підприємств регіону система автоматизованого проєктування, розроблена компанією Autodesk. AutoCAD і спеціалізовані застосунки на його основі знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та інших галузях промисловості [19]. На рис. 2.4 зображено приклад інтерфейсу системи AutoCAD.

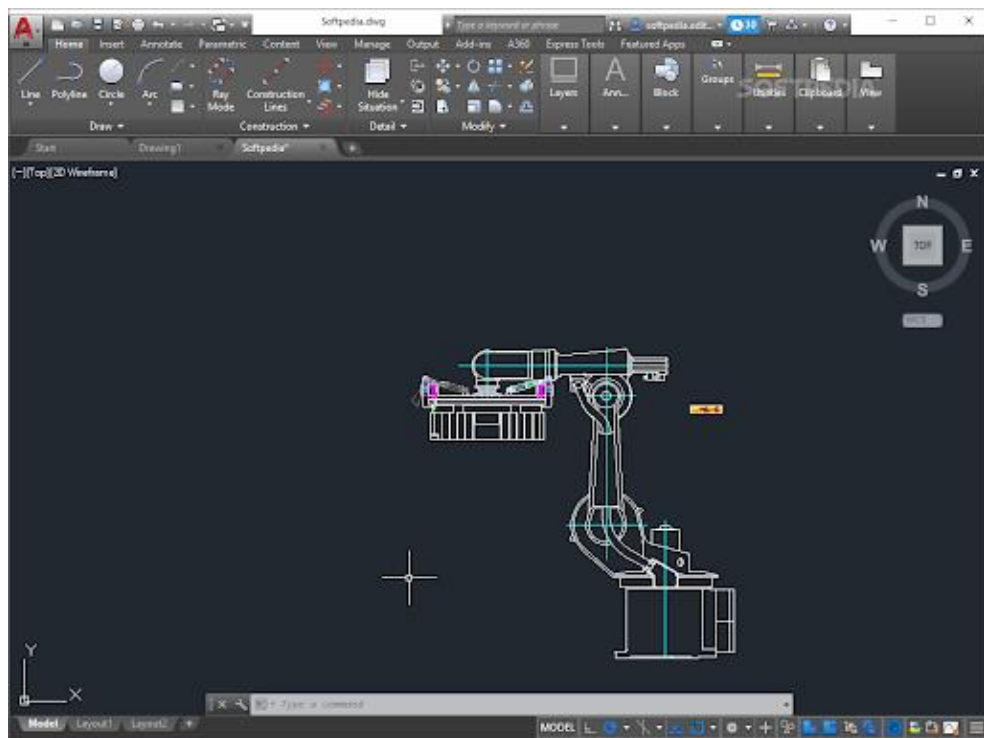


Рисунок 2.4 – Приклад інтерфейсу системи AutoCAD [19]

Сучасні версії AutoCAD надають наступні функціональні можливості:

- інструменти роботи з довільними формами, які дозволяють створювати та аналізувати складні тривимірні об'єкти. Їх формування і зміна здійснюються простим перетягуванням поверхонь, граней і вершин;
- тривимірний друк. Можна створювати фізичні макети проєктів через спеціалізовані служби 3D-друку або персональний 3D-принтер;
- використання динамічних блоків, що дозволяє створювати елементи, що повторюються із змінними параметрами без необхідності

перекреслювати їх заново або працювати з бібліотекою елементів;

- функція масштабування анотацій на видових екранах або в просторі моделі;

- запис операцій, дозволяє формувати послідовності команд навіть без досвіду програмування. Записані операції, команди і введені значення реєструються та відображаються в окремому вікні в дереві операцій. Після зупинки запису можна зберегти команди та значення в файлі макросу операцій з метою подальшого відтворення. При колективній роботі макроси можуть бути доступні всім;

- диспетчер підшивок організовує листи креслеників, спрощує публікацію, автоматично створює види, передає дані з підшивок в основні написи та штемпелі й виконує завдання таким чином, щоб вся потрібна інформація була в одному місці;

- інструменти спрощеної тривимірної навігації: «Видовий куб» дозволяє перемикатися між стандартними та ізометричними видами, як заданими раніше, так і з обраної користувачем точки; «Штурвал» об'єднує в одному інтерфейсі кілька різних інструментів навігації та надає швидкий доступ до команд обертання по орбіті, панорамування, центрування і масштабування;

- інструмент «Аніматор руху» надає доступ до іменованих видів, збережених в поточному кресленні. Його можна застосовувати як при створенні презентації проєкту (анімаційні ролики), так і для навігації [19].

Вимоги до апаратної платформи системи для актуальної версії AutoCAD 2020 наведено в табл. 2.1 [20].

Хоча AutoCAD підтримує об'єктно-орієнтовану технологію проєктування, він не може забезпечити розв'язування всього спектру задач, які зустрічаються у практичній діяльності та задовольнити усі вимоги спеціалізованої проєктної галузі.

Таблиця 2.1 – Вимоги до апаратної платформи для AutoCAD 2020

Показник	Мінімальні значення	Рекомендовані значення
Операційна система	Microsoft® Windows® 7 з пакетом оновлень 1 і оновленням KB4019990 (тільки 64-розрядної версії)	Microsoft Windows 10 (тільки 64-розрядної версії; версія 1803 або пізніша)
Процесор	Процесор з тактовою частотою 2,5-2,9 ГГц	Процесор з тактовою частотою вище 3 ГГц
Пам'ять	8 ГБ	16 ГБ
Роздільна здатність екрану	Стандартні монітори 1920 x 1080 з повним спектром, режимом True Color	Монітори з високою роздільною здатністю, включаючи 4K
Відеоадаптер	Графічний процесор з об'ємом відео пам'яті 1 ГБ і пропускну здатністю 29 Гбіт / с, сумісний з DirectX 11	Графічний процесор з об'ємом відео пам'яті 4 ГБ і пропускну здатністю 106 Гбіт / с, сумісний з DirectX 11
Місце на диску	6,0 ГБ	

Тому виникає необхідність у створенні та подальшій експлуатації спеціалізованих сервісних застосунків, використання яких значно прискорить виконання рутинних проєктних операцій, підвищить їх ефективність, усуне людський фактор, а тому значно покращить виконання проєкту в цілому.

Величезною перевагою використання сервісних застосунків є можливості повторного використання. Саме тому розробка спеціалізованих сервісних застосунків для AutoCAD є актуальною задачею.

2.3 Вибір інструментарію розробки

Функціональні можливості AutoCAD можна розширити та адаптувати для різноманітного застосування, використовуючи програмування. Це здійснюється пакетними файлами (скрипти) та засобами програмування AutoLISP, DCL (Dialog Control Language), Visual Basic for Application (VBA) або Object ARX (Visual C++). Функції, що можуть бути реалізовані на основі певних засобів програмування описані в табл. 2.2 [21].

Таблиця 2.2 – Характеристика інструментарію розробки під AutoCAD

Засоби програмування	Функції
AutoLISP	Автоматизація процесу підготовки проєктування, створення нових команд, отримання та збереження інформації за поточним кресленням, створення скриптів і зміна інформації в поточному файлі
DCL	Розробка графічного інтерфейсу, виклик і управління діалогом з Lisp-програми.
VBA	Зміна і доповнення графічного інтерфейсу користувача, створення нових команд, об'єднання Windows-програм і AutoCAD в єдиний комплекс
ObjectARX	Доповнення AutoCAD новими об'єктами, класами, протоколами, методами і механізмами обробки інформації встановлення зв'язку AutoCAD з різними системними подіями і зовнішніми пристроями

Аналіз показав, що мови AutoLISP та DCL надають потрібний функціонал та є простими у вивченні та використанні.

За допомогою мови програмування AutoLISP можна розширити функціональні можливості AutoCAD відповідно до певних спеціалізованих задач і вимог. Використовуючи її можна виконувати наступне: розробку параметрично-керованих моделей; розробку користувацького інтерфейсу систем-надбудов; роботу з графічною базою; додавання нових команд; створення власного середовища проєктування [22].

У мові AutoLISP визначені багато різних операцій, які називаються вбудованими функціями. За призначенням їх можна поділити на функції:

- для роботи з числовими даними, які реалізують арифметичні операції, а також найбільш часто використовувані математичні функції. Ці функції дозволяють обчислювати координати примітивів, розраховувати довжини, площі і т.п;
- для перевірки виконання різних умов операції порівняння, бульові операції та інше, а також функції, які організовують розгалуження за умовами;
- для роботи з рядками текстів: формування, зчеплення, порівняння рядків, виділення символів з рядка і т.п;
- для введення з клавіатури, пристроїв вказівки, і виведення на екран і принтер, за допомогою яких реалізується діалог користувача з програмою;
- для створення і читання текстових файлів, завдяки чому забезпечується можливість зв'язку за даними між різними програмами на AutoLISP;
- функції, характерні для всіх мов програмування, що забезпечують компактний опис дій в програмі за рахунок циклів і підпрограм;
- функції, характерні для мов типу LISP: створення, аналіз і перетворення списків [23].

Також мова AutoLISP має наступні особливості:

- відразу після відкриває круглої дужки повинен йти ідентифікатор операції або функції, що виконується при обчисленні виразу;
- кожна відкрита кругла дужка повинна мати бути закритою;
- після ім'я функції знаходяться аргументи, які повинні бути відділені від імені функції і один від одного принаймні одним пробілом. В AutoLISP додаткові пробіли і переноси рядків ігноруються;
- кожен вираз обчислюється або виконується і результат

повертається, який може бути або результатом обчислень, або порожньою множиною нуль (nil);

– будь-яке значення є істинним або невірним. Якщо значення виразу не може бути обчислено, то повертається нуль, тобто вираз вважається помилковим. Якщо ж він обчислюється, то вважається істинним [24].

Мова DCL надає графічні меню, засоби редагування атрибутів і діалогових вікон. Вона дозволяє впливати на спосіб виведення діалогового вікна, а також на його склад: кнопки, списки, поля т.д. Діалогове вікно викликається через функцію AutoLISP, яка керує діалогом. А тому є можливість створювати та використовувати графічні інтерфейси, що значно покращують роботу та спрощують використання AutoLISP [22].

2.4 Висновки до розділу 2

Як показали проведені дослідження, підприємства нашого регіону використовують різноманітні CAD/CAM-системи, зокрема КОМПАС, PTC Creo, Solid Work, AutoCAD.

Система AutoCAD є однією з найбільш популярних завдяки широким функціональним можливостям, інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу користувача та відкритості.

Застосування інструментарію програмування для AutoCAD дозволяє створювати сервісні застосунки, що підвищують рівень автоматизації проектування та ефективність проектних робіт.

В якості засобів розробки було обрано мови AutoLISP та DCL, які є простим та зручним інструментарієм адаптації AutoCAD до різноманітних застосувань.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СЕРВІСНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

3.1 Призначення та функції програми

Програма призначена для автоматизації розрахунків конструктивних параметрів черв'ячної зубонарізної фрези при проєктуванні різального інструменту для виготовлення зубчастого колеса.

Розроблений сервісний застосунок повинен забезпечувати виконання таких функцій:

- введення вихідних даних за допомогою діалогового вікна;
- розрахунок значень всіх необхідних конструктивних параметрів;
- виведення результатів розрахунку для перегляду;
- креслення основних видів інструменту в автоматизованому режимі.

3.2 Аналіз вхідних даних

В якості вихідних даних наводяться параметри оброблюваного зубчастого колеса.

- кількість зубів оброблюваного колеса, z ;
- модуль, m ;
- кут профілю на ділильному діаметрі, α .

У табл. 3.1 наведені значення основних параметрів деталі. Ці дані заносяться безпосередньо конструктором. На основі введених значень програмно розраховуються додаткові параметри деталі. Для їх обчислення використовується методика проведення розрахунку згідно з [10].

Отримавши всі необхідні дані про деталь (оброблюване колесо), програма вибирає схожі параметри інструменту відповідно до [11]. Основні

конструктивні параметри фрези можуть бути продиктовані конкретними умовами застосування на верстаті насадних черв'ячних фрез. Але в нашому випадку, коли задаються тільки дані про деталі, параметри рекомендується задавати на підставі [11]. Всі можливі значення вторинних параметрів зведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Первинні параметри (вихідні параметри деталі)

Модуль колеса, m	Кількість зубів колеса, z	Кут профіля нормального вихідного контуру, α
1,25	$Z > Z_{\min} = \frac{2 \cdot h_a^*}{\sin^2 \alpha}$	20° ; 25°
1,5		
2		
2,5		
3		
3,5		
4		
5		
6		
8		
10		

Таблиця 3.2 – Вторинні параметри згідно з [11]

Модуль фрези, m_n	Діаметр фрези, d_{ao}	Діаметр виступу, d_1	Діаметр отвору, d	Довжина фрези, L	Довжина буртика, l_b	Ширина шпонки, b	Висота шпонки, d_g
1,25	50	33	22	70	3	6	17,6
1,5	63	40	27	80	3	7	22
2				90	3		
2,5				100	3		
3	80	50	32	112	4	8	27
3,5				125	4		
4				140	4		
5					4		
6	112	60	40	160	5	10	34,5
8	125			180	5		
10	150			200	5	12	44,5

Примітка: всі розміри подано в міліметрах.

На рис. 3.1 зображено фрезу с табличними параметрами, позначення яких було змінено згідно з їх об'явою при програмній реалізації.

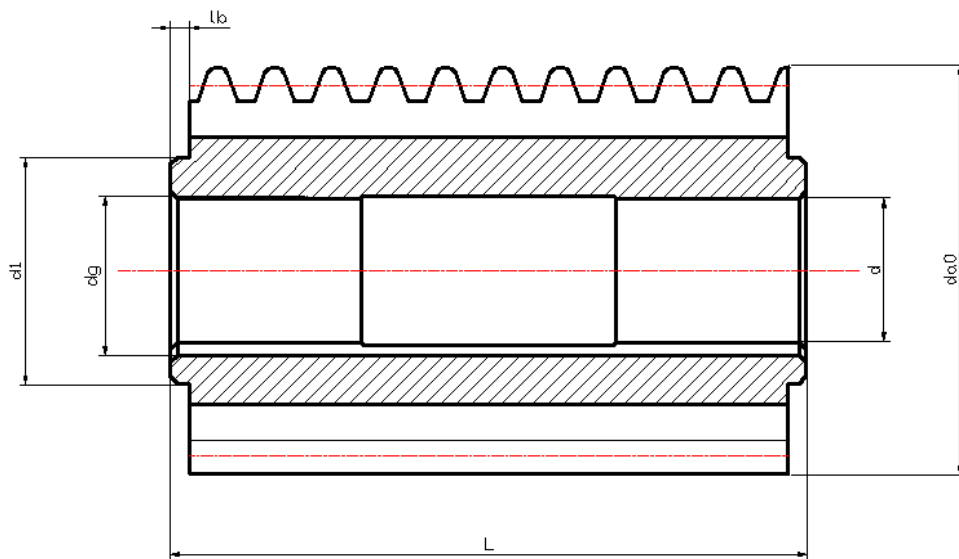


Рисунок 3.1 – Ескіз фрези [11]

3.3 Схема алгоритму створення сервісного застосунку

Послідовність створення сервісного застосунку наведено на рис. 3.2. Вона включає наступні етапи:

Блок 1. Початок. Аналіз вхідних даних.

Блок 2. Основні параметри. Визначення основних розмірів, необхідних для побудови фрези.

Блок 3. Основні точки. Для правильної побудови необхідно визначити основні точки для кожного з видів майбутнього кресленника.

Блок 4. Розробка програми. Передбачає створення підпрограм розрахунку та креслення параметрично заданих основних видів інструменту на мові AutoLISP за даними стандартів.

Блок 5. Відлагодження програми. Передбачає пошук та виправлення помилок в програмі.



Рисунок 3.2 – Схема алгоритму створення сервісного застосунку

Блок 6. Розробка інтерфейсу. Розробка дизайну діалогового вікна програми на мові DCL.

Блок 7. Інтеграція. Передбачає розробку функції інтерфейсу діалогового вікна з програмою параметричного креслення.

Блок 8. Види кресленника. Передбачає створення слайдів основних видів фрези.

Блок 9. Мозаїчне меню. Передбачає створення текстового файлу зі списком імен файлів слайдів для подальшого об'єднання в бібліотеку слайдів.

Блок 10. Файл меню. Створення окремого файлу меню AutoCAD, що містить опис спадаючого меню та виклики функцій-менеджерів, креслення кожного компонента програми. Модифікація стандартного файлу меню AutoCAD ACAD.MNU (поточна конфігурація користувача) або ACAD.MNS (незмінне джерело меню, резерв для відновлення) для функціонування сервісного додатка може бути ускладнена через обмеження прав доступу в рамках окремого підприємства.

Блок 11. Інтеграція з AutoCAD. Підключення файлу меню до системи AutoCAD. Комплексне тестування та налагодження сервісного застосунку в реальних умовах експлуатації.

Блок 12. Кінець.

3.4 Розробка структури сервісного застосунку

Структура сервісного застосунку в AutoCAD обумовлена особливостями реалізації системи меню AutoCAD та організацією діалогу користувача з системою. Початкова структура сервісного застосунку регламентована, але залишає простір для додаткових рішень по організації розвиненого діалогу. На рис. 3.3 зображено узагальнену структуру розробленого сервісного застосунку.

Роботу сервісного застосунку забезпечують наступні файли:



Рисунок 3.3 – Узагальнена структура розробленого сервісного застосунку

- `frezolib.mns` - містить опис пункту головного меню «Фреза» AutoCAD, яка відноситься до групи меню `FREZA_LIB`;
- `freza.lsp` - файл креслення фрези, включає в себе індивідуальні функції-креслення та функцію-менеджер `freza_start`, що власне запускається з меню (забезпечує прийом даних з діалогового вікна та їх передачу в функції креслення);
- `freza_dialog.dcl` - опис вікна діалогу на мові DCL для введення значень параметрів фрези;
- `info_freza.dcl` - опис вікна діалогу на мові DCL для виведення результатів розрахунку;
- `freza_common.lsp` - файл загальних функцій програми, складається з ініціалізації глобальних системних змінних (використовуються вікном діалогу),
- функції управління взаємодією з вікном діалогу `define_freza` і функції ініціалізації шарів, типів, кольору і товщини ліній `prepare`;
- `freza_sl.slb` - бібліотека слайдів.

3.5 Опис особливостей програмної реалізації застосунку

Функція, яка безпосередньо виконує креслення черв'ячної фрези згідно з отриманими вихідними параметрами оброблюваної деталі, з урахуванням вимог щодо вибору параметрів за [11] (див. табл. 3.1 і 3.2), а також розрахунків, міститься в файлі FREZA.lsp. Цей файл містить функції `freza_m`, `freza_a`, `freza_p` (креслення основних видів фрези) і `freza_start` (менеджер). Опис глобальних змінних представлено в табл. 3.3. Опис функцій – в табл. 3.4.

Програма написана з урахуванням її можливої модифікації з використанням принципу модульності. Всі повідомлення програми містяться в спеціальних змінних і часто виходять динамічно при роботі сервісного застосунку. Такий підхід до організації структури програми дозволяє швидко переробити її для створення іншого кресленика, або використовувати готові частини даної програми при розробці інших сервісних застосунків.

Таблиця 3.3 – Опис глобальних змінних (файл FREZA.lsp)

Ідентифікатор	Тип	Коментар
<code>l_mod</code>	Список дійсних чисел	Містить дані таблиці 3.2

Таблиця 3.4 – Опис функцій (файл FREZA.lsp)

Ідентифікатор	Коментар
<code>freza_m</code>	Креслення бічного виду
<code>freza_a</code>	Креслення головного виду
<code>freza_p</code>	Креслення нормального профілю
<code>freza_start</code>	Менеджер управління запуском функцій креслення згідно отриманих даних з вікна діалогу, ініціалізація середовища AutoCAD

Функція, яка управляє обміном даними між вікном діалогу і функціями креслення, міститься в файлі `freza_common.lsp`. Цей файл містить функції `define_freza` і `prepare`. Опис глобальних змінних файлу представлено в табл. 3.5, а функцій розробника - в табл. 3.6.

Таблиця 3.5 – Опис глобальних змінних (файл `freza_common.lsp`)

Ідентифікатор	Тип	Коментар
<code>d_x_pos</code>	символ	Збереження рядкової подічі значення координати x базової точки при вказівці цієї точки на кресленику.
<code>d_y_pos</code>	символ	Те саме для координати y
<code>d_v_pos</code>	символ	Те саме для списку видів.
<code>d_dims</code>	символ	Те саме для прапорця простановки розмірів
<code>d_mod_sp</code>	символ	Те саме для списку модулів
<code>d_z</code>	символ	Те саме для кількості зубів колеса
<code>d_ang</code>	символ	Те саме для списку кутів профіля

Таблиця 3.6 – Опис функцій (файл `freza_common.lsp`)

Ідентифікатор	Коментар
<code>define_freza</code>	Повертає список основних параметрів конструктивних елементів (див. табл. 3.2) і закодований режим креслення
<code>prepare</code>	Ініціалізація шарів, типів, кольору й товщини ліній

Файл `frezalib.mns` містить опис пункту головного меню «Фреза» AutoCAD, яка відноситься до групи меню `FREZA_LIB`. Пункт містить підпункт "черв'ячная фреза". Текст файлу креслення наведено в Додатку А.

3.6 Схема алгоритму роботи головної програми

Схема алгоритму роботи головної програми показано на рис. 3.4. З цієї схеми добре видно функціональні можливості програми, які реалізуються через окремі блоки програми. Поблочний детальний опис даної схеми алгоритму такий.

Блок 1. Початок.

Блок 2. Введення основних даних. Запуск функції запиту вхідних даних у користувача за допомогою вікна діалогу (`define_freza`) з подальшою передачею списку основних параметрів параметричного креслення та службових даних.

Блок 3. Дані вірні? Передбачає перевірку відповідності отриманого з діалогового вікна списку `s_d`, якщо він порожній, то вийти з програми, інакше - продовжити виконання.

Блок 4. Отримання додаткових параметрів побудови (список `s_a_d`) на основі розрахунку.

Блок 5. Головний вид. Відбувається ініціалізація середовища AutoCAD (функції `setvar`, `getvar` та `prepare`), відключення виведення повідомлень в командному рядку (змінна `cmdecho`), установка необхідних прив'язок (змінна `osmode`) і глобального масштабу розмірів (змінна `dimscale`). Розгалуження за значенням прапорця (`nth 6 s_d`); якщо він дорівнює "1", то викликається функція креслення додаткового виду, інакше - головного виду.

Блок 6. Креслення головного виду. Виклик функції `freza_a` з параметрами в наступній послідовності: координати базової точки, модуль колеса, кут профілю, кількість зубів, зовнішній діаметр фрези, діаметр отвору, товщина шпонки, висота шпонки, діаметр контрольних пасків;

Блок 7. Бічний вид? Перевірка типу додаткового виду, що має бути накреслений.

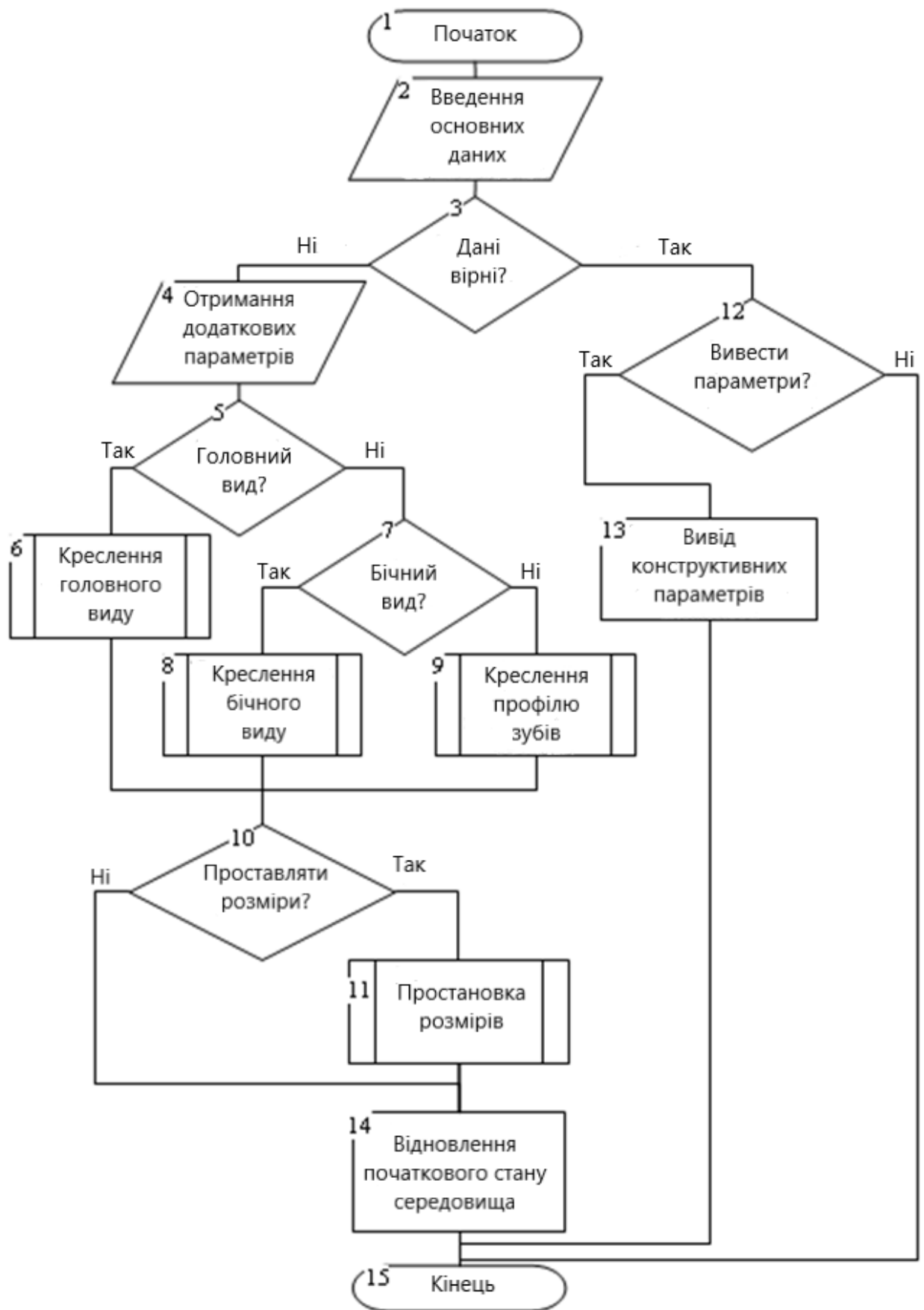


Рисунок 3.4 – Схема алгоритму роботи програми

Блок 8. Креслення бічного виду. Виклик функції `freza_m` з параметрами в наступній послідовності: координати базової точки, модуль колеса, зовнішній діаметр фрези, діаметр отвору, діаметр контрольних пасків, довжина фрези, висота шпонки, ширину буртика;

Блок 9. Креслення профілю зубів в нормальному перетині. Виклик функції `freza_p` з параметрами в наступній послідовності: координати початкової точки, модуль колеса, кут профілю, число зубів, радіус заокруглення біля основи зуба.

Блок 10. Запит на проставлення розмірів на відповідному виді. Якщо так, то перехід на Блок 11.

Блок 11. Простановка розмірів на побудованому кресленнику.

Блок 12. Запит на виведення параметрів фрези в окремому вікні. Якщо так, тоді Блок 13, інакше – завершення роботи.

Блок 13. Вивід конструктивних параметрів фрези.

Блок 14. Відновлення початкового стану середовища AutoCAD (функція `setvar`).

Блок 15. Кінець. Завершення роботи програми.

3.6 Особливості організації інтерфейсу програми

Опис структури вікна - текстовий файл `freza_dialog.dcl`, який містить ієрархію елементів вікна. Кожен видимий об'єкт (`title`) має ідентифікатор (параметр `key`) і інші специфічні параметри. Елементи відображаються в порядку їх запису в файлі та не перекриваються один з іншим. Загальний опис елемента виглядає так:

```
: <тип_елемента> {
    <назва_параметра1> = <значення_параметра1>;
    ...
    <назва_параметраN> = <значення_параметраN>;
}
```

Опис елемента позиціонування поруч з параметрами містить вкладені описи будь-яких інших елементів. Елемент цього типу може бути або видимим як рамка (`boxed_row`, `boxed_column`), або прихованим (`row`, `column`). Нижче перераховані назви призначення використовуваних елементів інтерфейсу:

- `dialog` – вікно діалога (файл може містити описи декількох вікон);
- `spacer` – невидимий елемент для вставки проміжка між тісно розташованими елементами;

- `text` – вставка напису у вікні;
- `image` – вставка зображення слайда у вікні;
- `popup_list` – випадаючий список;
- `edit_box` – текстове поле вводу;
- `button` – кнопка;
- `radio_column` – група з хоча б 2-х перемикачів;
- `radio_button` – одиночний перемикач;
- `toggle` – прапорець.

До всіх елементів можливий програмний доступ. Спочатку потрібно завантажити файл опису вікна діалогу в середовище (функція `load_dialog`), що повертає ідентифікатор адреси опису вікна в пам'яті, або - 1 в разі помилки. Далі функцією `new_dialog` створити приховане вікно. Тепер потрібно провести ініціалізацію всіх необхідних елементів вікна. Для того, щоб указати, з яким саме елементом виконуються операції, існують своєрідні «дужки» - функції, які оголошують початок і кінець операцій з укааним елементом. Наприклад для фрагменту програми:

```
(start_image "sld_img")
  (fill_image 0 0 xsld ysld -16)
  (slide_image 0 0 xsld ysld freza_sl.sld)
(end_image)
```

Відбувається обробка області вікна з ідентифікатором `sld_img`, яка

зайнята зображенням слайда, тобто її зафарбовування чорним кольором і вставка конкретного зображення з бібліотеки слайдів. Аналогічно заповнюються списки, що випадають:

```
(start_list "d_freza_m")
  (mapcar 'add_list freza_l)
(end_list)
```

В даному випадку функція `add_list` додає в список, що випадає `d_freza_l` значення, які містяться в списку `freza_l`.

Ініціалізувати елемент або встановити певне значення вже проініціалізованого можна за допомогою функції `set_tile`. Змінити відображення елемента у вікні або зробити його активним дозволяє функція `mode_tile`.

Далі повинні бути описи тих функцій, або їх послідовностей, які будуть виконуватися, коли користувач змінить значення/стан елементів - обробників подій. Вони записуються в лапках як другий аргумент функції `action_tile`:

```
(Action_tile <ім'я_елемента> "s-вирази_lisp")
```

У цих виразах можна отримати поточне значення елемента за допомогою локальної для поточного `action_tile` змінної `$ value`. Якщо `s-вирази` повинні містити символ лапок, то перед ними записують ознаку спецсимвола `(\)`.

Зазвичай один з елементів вікна забезпечує його тимчасове або постійне закриття. Це реалізує функція `done_dialog`, яка до того ж може повернути умовний код для з'ясування причин закриття вікна. Далі записується функція вивантаження опису вікна із зазначеним ідентифікатором із середовища `unload_dialog`.

У табл. 3.7 та 3.8 перераховані використовувані команди AutoCAD і специфічні функції AutoLISP відповідно до [21], [23]- [24].

Таблиця 3.7 – Команди AutoCAD, що використані в програмі

Ідентифікатор	Коментар
layer	Операції з зазначеним шаром
pline	Полілінія
line	Лінія
circle	Коло
zoom	Управління масштабом зображення креслення
regenall	Регенерація зображення після збільшення
rotate	Обертання вибраних примітивів навколо зазначеної точки
dimlinear	Простановка лінійного розміру
dimradius	Простановка радіального розміру
dimdiameter	Простановка розміру діаметру

Таблиця 3.8 – Функції AutoLISP, що використовувалися

Ідентифікатор	Коментар
setq	Групове привласнення змінним значень
command	Виконання команди AutoCAD
if	Розгалуження за умовою
setvar	Установка значення системної змінної
getvar	Отримання значення системної змінної
osnap	Отримання координати точки з урахуванням зазначених прив'язок
progn	Операторні дужки
list	Створення списку з аргументів
print	Виведення в командний рядок AutoCAD
exit	Вихід з програми
ssadd	Додавання примітиву до набору або створення порожнього набору примітивів
entlast	Отримання ідентифікатором останнього наміченого примітиву
foreach	Виконання дії для кожного елемента списку
alert	Вікно повідомлення про помилку
while	Цикл, який виконується поки деякий умова одно true
load_dialog	Завантаження файлу опису діалогу на мові DCL

Продовження таблиці 3.8

Ідентифікатор	Коментар
new_dialog	Створення нового прихованого діалогу
start_dialog	Відкриття існуючого діалогу
done_dialog	Закриття існуючого діалогу
unload_dialog	Вивантаження опису зазначеного діалогу
cdr	Отримання хвоста списку
cadr	Отримання другого елементу списку
nth	Отримання довільного елемента списку
strcat	Конкатенація рядків
numberp	Тест чи аргумент числом
vl-position	Визначення позиції підрядка в рядку
atoi	Перетворення рядка в ціле число
atof	Перетворення рядка на дійсне число
rtos	Перетворення дійсного числа в рядок
mapcar	Застосування зазначеної функції над кожним елементом списку, повертає список
getpoint	Введення координат точки мишею
dimx_tile	Отримання горизонтального розміру слайда
dimy_tile	Отримання вертикального розміру слайда
fill_image	Заповнення панелі вказаним кольором
slide_image	Встановлення зазначеного слайда в вікні
start_image	Початок операцій з вказаною областю зображення у вікні
end_image	Кінець операцій з вказаною областю зображення в окні
start_list	Початок операцій з зазначеним випадаючим списком у вікні
end_list	Кінець операцій з зазначеним випадаючим списком у вікні
set_tile	Встановлення зазначеного значення елемента вікна
get_tile	Отримання значення зазначеного елемента вікна
mode_tile	Зміна стану вказаного елемента вікна (активний-неактивний)
action_tile	Текстовий опис функції, виконувани при активації зазначеного елемента вікна

4 КЕРІВНИЦТВО ПРОГРАМІСТА

4.1 Призначення та умови виконання програми

Програма призначена для автоматизації проєктування черв'ячної зуборізної фрези.

Для роботи програми необхідно мати встановлений AutoCAD 2020 та персональний комп'ютер з параметрами не нижче наступної конфігурації:

- процесор з частотою 3 ГГц та вище;
- 8 Гб оперативної пам'яті;
- вільний дисковий простір не менше 6 Гб.

4.2 Характеристики програми

Програма розроблена за допомогою мов програмування AutoLISP та DCL, які є популярним засобом розробки програмного забезпечення для AutoCAD.

Інтерфейс організовано на основі діалогового вікна.

Lisp-застосунок з діалоговим вікном складається з двох частин:

- основного коду на AutoLISP - файлу з розширенням * .LSP;
- файлу-розмітки вікна на мові DCL - файл з розширенням * .DCL.

Розроблений сервісний застосунок включає 5 файлів:

- frezalib.mns - містить опис пункту головного меню «Фреза» AutoCAD, яка відноситься до групи меню FREZA_LIB;
- freza.lsp - файл креслення фрези, включає в себе індивідуальні функції-креслення та функцію-менеджер freza_start, що власне запускається з меню (забезпечує прийом даних з діалогового вікна та їх передачу в функції креслення);
- freza_dialog.dcl - опис вікна діалогу на мові DCL для введення значень параметрів фрези;

- info_freza.dcl - опис вікна діалогу на мові DCL для виведення результатів розрахунку;
- freza_common.lsp - файл загальних функцій програми, складається з ініціалізації глобальних системних змінних (використовуються вікном діалогу), функції управління взаємодією з вікном діалогу define_freza і функції ініціалізації шарів, типів, кольору і товщини ліній prepare;
- freza_sl.slb - бібліотека слайдів.

4.3 Звертання до програми

Всі файли програми повинні зберігатися в робочій папці.

Для зміни шляху до цієї папки необхідно вказати шлях до файлів програми. Для цього необхідно запустити «AutoCAD» і зайти в меню «Tools» -> «Options», в закладці «Files» вибрати «Support File Search Path», натиснути кнопку «Add ...» і вказати шлях до файлів програми кнопкою «Browse ...» (рис. 4.1).

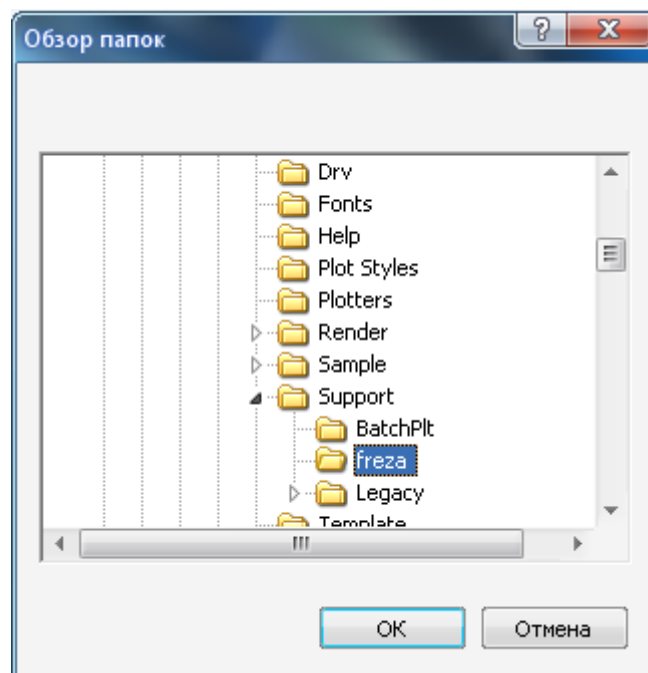


Рисунок 4.1 – Додавання шляху до сервісного застосунку

Скрипт LISP-програми креслення фрези знаходиться в файлі (* .lsp) в робочій папці. Створена програма забезпечує наступне:

- діалог з користувачем, у тому числі контроль вхідних даних;
- креслення головного виду деталі, бічного виду та профілю зубів в нормальному перетині;
- розташування елемента в необхідному місці кресленика;
- можливість простановки розмірів на кресленику.

Інтеграція програми в середовище AutoCAD відбувається за рахунок додавання спадаючого пункту головного меню, після звернення до якого має відкриватися мозаїчне меню, яке містить слайди з зображенням фрези.

Для завантаження меню можна скористатися наступними способами:

- в головному меню вибрати пункт Tools> Customize Menus;
- в командному рядку AutoCAD ввести команду MENULOAD.

Відкриється діалогове вікно «Menu Customization» (Завантаження/Вивантаження адаптацій), натиснути кнопку «Browse» (Огляд). Вказати на створений файл меню «freza_lib.mnu», потім натиснути кнопку «Load» (Завантажити) (рис. 4.2).

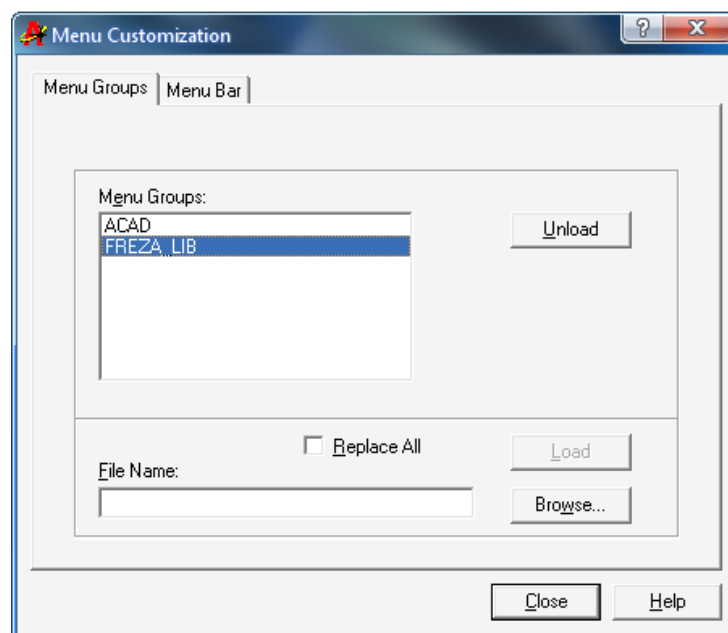


Рисунок 4.2 – Вікно завантаження файлів меню

В даному застосунку використовується файл `frezalib.mns`, в якому міститься опис меню, яке відноситься до групи меню `FREZA_LIB`.

Для креслення фрези необхідно запустити AutoCAD і зайти в меню «Інструмент» -> «Фрези» -> «Фреза черв'ячна» (рис. 4.3).

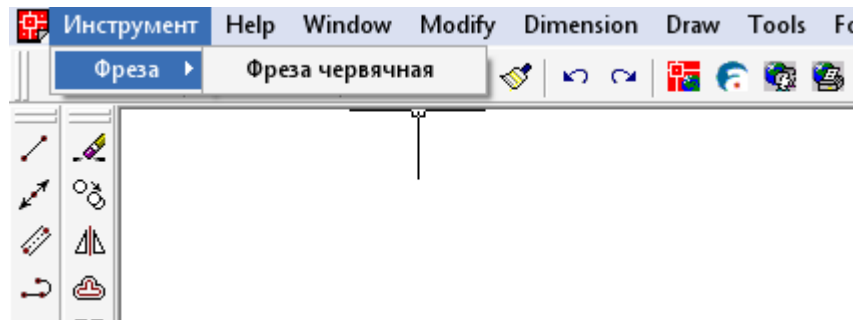


Рисунок 4.3 – Виклик сервісного застосунку

Для поповнення застосунку новим різальним інструментом необхідно виконати наступні дії:

- розробити програму креслення нового інструменту на AutoLISP, рекомендується її розробляти на базі вже існуючої в застосунку програми; особливу увагу приділити дотримувannya аналогічної структури й потоків даних;
- за допомогою команди AutoCAD `MSLIDE` створити новий слайд із зображенням нового інструменту;
- зібрати бібліотеку слайдів `libfreza.slb` за допомогою утиліти `SLIDELIB.EXE`;
- модифікувати файл опису меню `frezalib.mns` наступним чином: додати після `ID_Scr [-> & Фрези]` рядок `ID_ <тризначне_число> <назва_пункта_меню>] ^ C ^ C (<ім'я_функції-менеджера>)` (рис.4.4);
- перезавантажити файл меню `frezalib.mns`;
- скопіювати `*.LSP` файл в загальний каталог та прописати його завантаження.

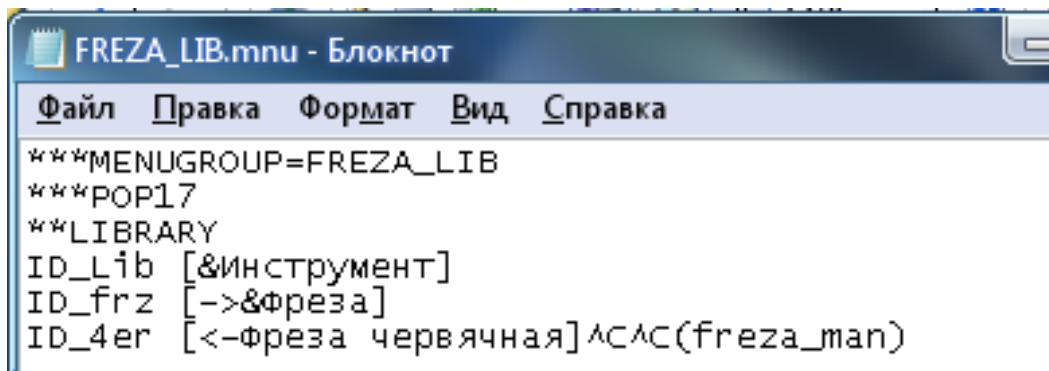


Рисунок 4.4 – Файл опису меню

4.4 Вхідні та вихідні дані

Вхідними даними для програми є базова точка, вид (головний, профільний або бічний), модуль зубчатого колеса, кут нормального профіля, кількість зубів колеса.

Введення вхідних даних реалізовано за допомогою візуального інтерфейсу – діалогового вікна (рис. 4.5).

Модуль колеса та кут профілю можна вибрати з випадаючих списків можливих значень. Кількість зубів користувач вводить вручну, базову точку - за допомогою маніпулятора «миша» або за допомогою списку, який передається в якості параметра.

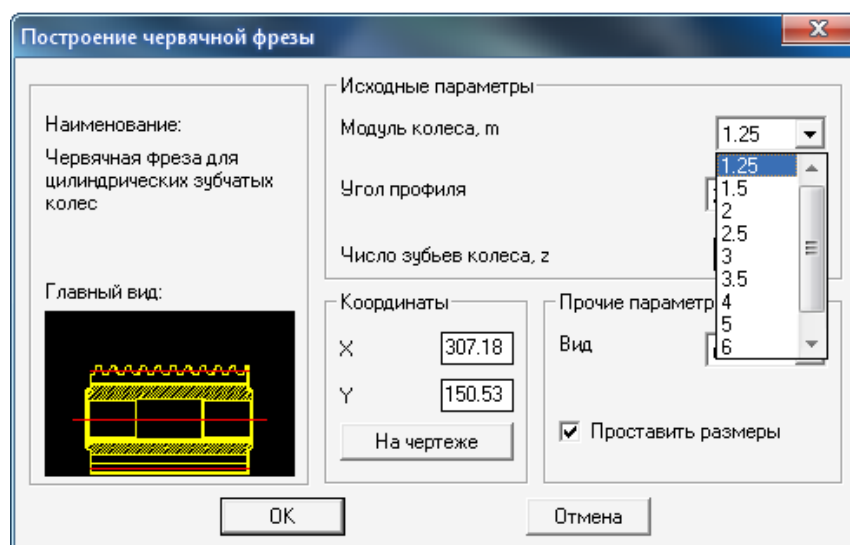


Рисунок 4.5 – Діалогове вікно сервісного застосування

Вихідними даними є результат розрахунків і побудований кресленик, що виводяться у діалоговому вікні (рис.4.6).

ПАРАМЕТРЫ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА		ФРЕЗА	
Исходные параметры		Параметры по ГОСТ 9324-80	
Модуль, m:	3.5	Внешний диаметр фрезы:	90
Число зубьев:	31	Длина фрезы:	100
Угол профиля:	25	Диаметр отверстия:	32
Расчетные значения		Диаметр контрольных поясков:	50
Шаг зубьев:	11.2	Высота шпонки:	36
Толщина зуба на линии обкатки:	5.11	Расчетные параметры профиля зубьев	
Диаметр делительной окружности:	98	Толщина зуба фрезы на линии обкатки:	5.88
Диаметр вершин зубьев:	115	Высота ножки зуба фрезы:	5.03
		Высота зуба фрезы:	9.5
		Толщина зуба на вершине:	1.18
		Максимальный радиус скругления:	0.77
		Коэффициент затылования зуба:	2.5

Buttons: Построить, Отмена

Рисунок 4.6 – Вікно параметрів фрези та колеса

4.5 Повідомлення

Як описувалося раніше, всі файли програми повинні зберігатися в робочій папці. Якщо ж файл, що містить опис головного діалогу не знаходиться в призначеному каталозі, при запуску програми, виводиться повідомлення про помилку (рис. 4.7).

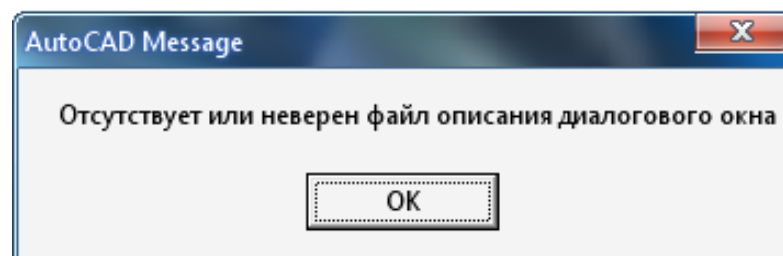


Рисунок 4.7 – Помилка налаштування

5 КЕРІВНИЦТВО КОРИСТУВАЧА

5.1 Призначення програми

Сервісний застосунок призначений для автоматизованого проектування черв'ячної фрези. Він забезпечує зниження кількості рутинних трудомістких робіт, виконуваних конструктором, зменшення термінів розробки різального інструмента, підвищення точності проєктованого інструмента, а значить і якості оброблюваних виробів.

Програмне забезпечення (ПЗ) дозволяє «за пару кліків миші» створити досить складні кресленики, що містять основні види черв'ячної зубонарізної фрези, та надає наступний функціонал:

- введення даних за допомогою діалогового вікна;
- розрахунок значень всіх необхідних параметрів;
- виведення результатів розрахунку для перегляду;
- виконання креслення основних видів різального інструменту.

5.2 Умови виконання програми

Для роботи програми необхідно мати встановлений AutoCAD 2020.

Вимоги до складу та параметрів технічних засобів для експлуатації сервісного застосунка визначаються з урахуванням версії AutoCAD, яка використовується. У будь-якому випадку рекомендується процесор з тактовою частотою 3 ГГц і вище, обсяг оперативної пам'яті не менше 8 Гб, 6 Гб вільної пам'яті. Операційна система Windows 7 та вище. Рекомендується монітор з діагоналлю мінімум 17" (бажано 19 ").

5.3 Виконання програми

Для використання можливостей сервісного застосунка необхідно запустити AutoCAD і упевнитися, що він підключений відповідно до рекомендацій (рис. 5.1).

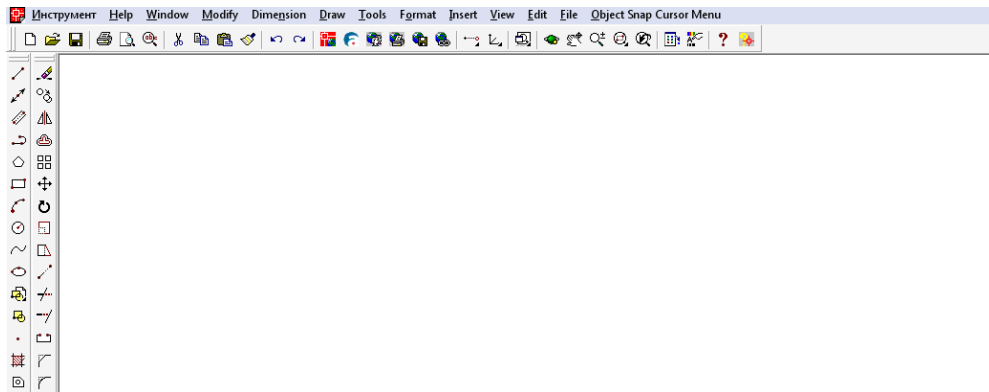


Рисунок 5.1 – Головне вікно програми після запуску

Користувачеві для перегляду креслеників необхідно викликати доданий спадаючий пункт головного меню «Інструмент» -> «Фреза» -> «Фреза черв'ячна» (рис. 5.2).

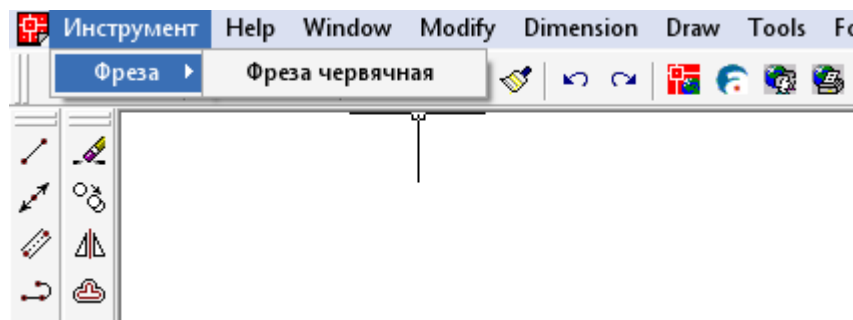


Рисунок 5.2 – Пункт спадаючого меню

Після вибору пункту меню на екрані з'явиться діалогове вікно "Побудова черв'ячної фрези", що містить елементи управління параметрами креслення фрези. Ліворуч вказано найменування інструменту і його головний вид (рис.5.3).

Построение червячной фрезы

Наименование:
Червячная фреза для
цилиндрических зубчатых
колес

Главный вид:

Исходные параметры

Модуль колеса, m: 1.25

Угол профиля: 1.5

Число зубьев колеса, z: 2

Координаты

X: 307.18

Y: 150.53

На чертеже

Прочие параметры

Вид: 1.25

☒ Проставить размеры

OK Отмена

Рисунок 5.3 – Форма введення вхідних даних

Виділений фрагмент вікна «Вихідні параметри» містить поле для введення вихідних параметрів деталі (колеса). Модуль колеса і кут профілю вводяться за допомогою випадаючого списку можливих значень. Таким чином введення значень цих параметрів захищене від помилок. Останній вихідний параметр вводиться конкретним значенням, але в даному випадку передбачено попередження про неправильне значення.

Також можливо ввести координати базової точки вставки або в полях введення, або вказавши мишкою на кресленні; вибрати вид зі списку можливих варіантів і проставити розміри.

Для виконання автоматизованого креслення необхідно вибрати потрібні параметри і натиснути кнопку ОК, або можна скасувати побудову, натиснувши кнопку Скасувати. Перш ніж буде виконано креслення, виводиться вікно з отриманими результатами розрахунку параметрів фрези. У ньому виведені вихідні та розрахункові значення основних параметрів фрези та колеса (рис 5.4). При виборі основного виду кресленик матиме такий вигляд як на рис. 5.5.

Просмотр результатов расчетов параметров червячной фрезы

ПАРАМЕТРЫ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА		ФРЕЗА	
Исходные параметры		Параметры по ГОСТ 9324-80	
Модуль, m:	3.5	Внешний диаметр фрезы:	90
Число зубьев:	31	Длина фрезы:	100
Угол профиля:	25	Диаметр отверстия:	32
Расчетные значения		Диаметр контрольных поясков:	50
Шаг зубьев:	11.2	Высота шпонки:	36
Толщина зуба на линии обкатки:	5.11	Расчетные параметры профиля зубьев	
Диаметр делительной окружности:	98	Толщина зуба фрезы на линии обкатки:	5.88
Диаметр вершин зубьев:	115	Высота ножки зуба фрезы:	5.03
		Высота зуба фрезы:	9.5
		Толщина зуба на вершине:	1.18
		Максимальный радиус скругления:	0.77
		Коэффициент затылования зуба:	2.5

Построить

Отмена

Рисунок 5.4 – Конструктивні параметри колеса та фрези

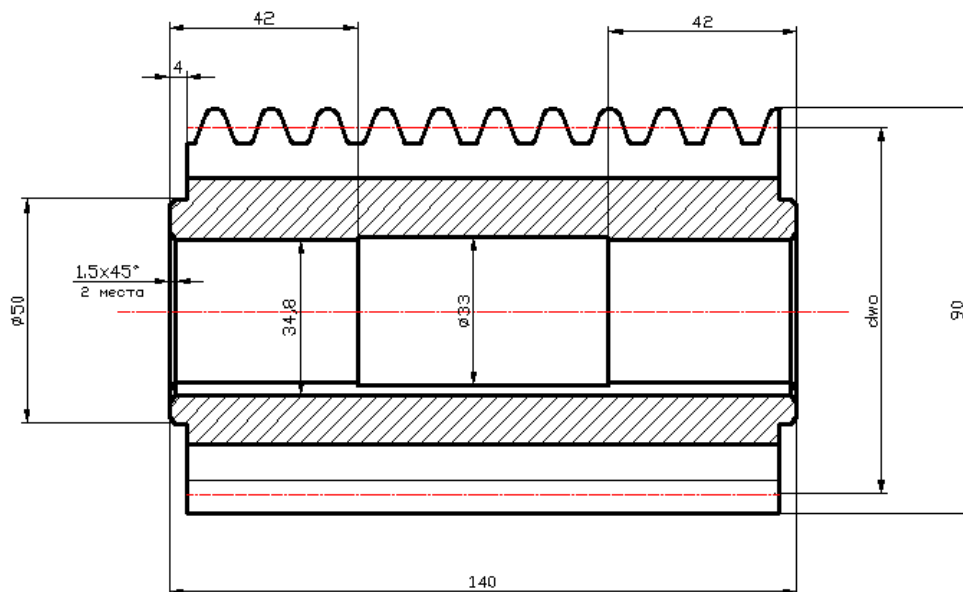


Рисунок 5.5 – Кресленик основного виду

Для зручності користувача параметри останньої побудови зберігаються в середовищі AutoCAD протягом поточної сесії та можуть бути використані при повторному виклику вікна діалогу. Аналогічно для вибору бічного виду (рис. 5.6).

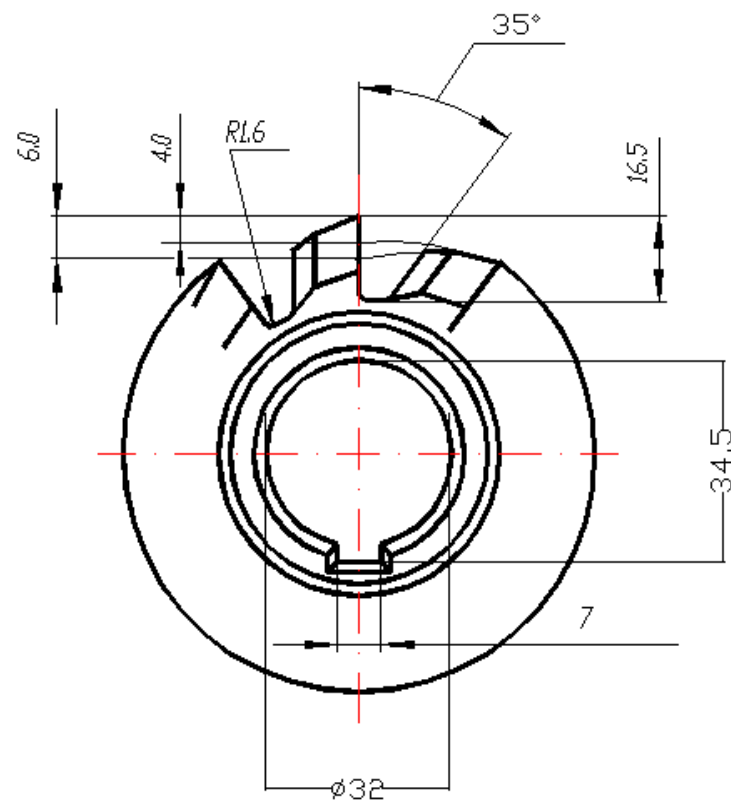


Рисунок 5.6 – Кресленик бічного виду

Останній можливий вид – кресленик профілю зубів в нормальному перетині (рис.5.7).

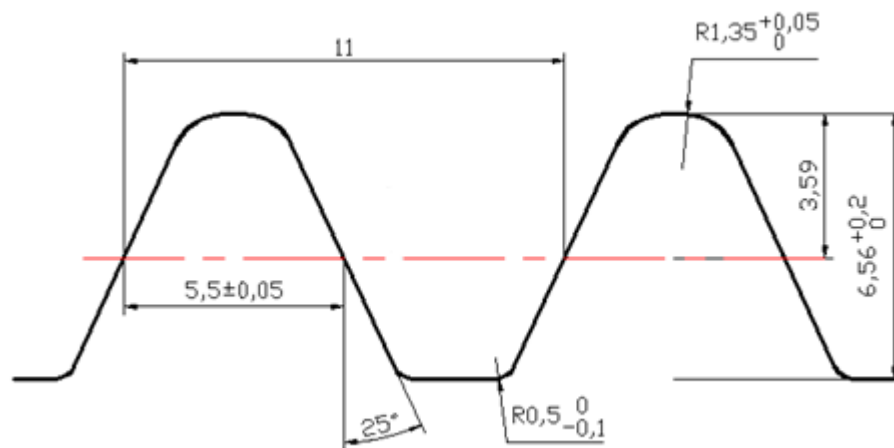


Рисунок 5.7 – Профіль зубів в нормальному перетині

5.4 Повідомлення про помилки

Використання діалогового вікна обумовлено орієнтацією сервісного застосунка на кінцевого користувача, для якого цей спосіб введення набагато зручніший ніж накопичення текстових повідомлень в командному рядку, причому вводити дані можна в будь-якій зручній послідовності. Також зменшується кількість потенційних помилок введення за рахунок використання готових списків значень і введення координат безпосередньо на кресленику.

Введення безпосередньо значення параметра передбачене в полі введення кількості зубів. У разі введення невідповідного значення виводиться повідомлення про помилку (рис.5.8).

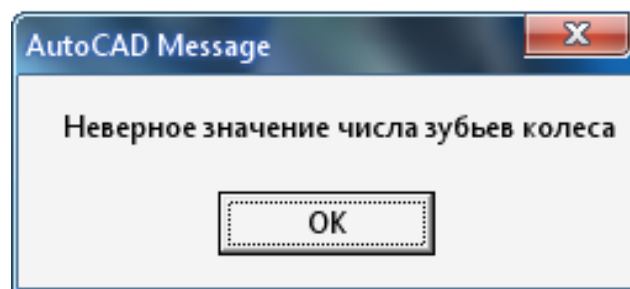


Рисунок 5.8 – Помилка неправильного введення

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи показано, що сучасні методи та засоби автоматизованого проєктування потребують подальшого розвитку, оскільки існують ще рутинні розрахунки та тривалий процес створення креслеників проєктованих деталей.

В якості середовища проєктування було обране середовище AutoCAD. Дане рішення обумовлено його значною поширеністю на підприємствах регіону, твердо встановленим статусом універсальної і відкритої системи. AutoCAD не надає рішення усіх сучасних практичних задач, які постають перед інженерами, але дозволяє розширювати свої функціональні можливості за допомогою різноманітних засобів програмування. Один раз написана програма, може використовуватися для повторного використання.

Як інструмент розробки було обрано мову програмування AutoLISP, що об'єднує в собі можливості класичної мови LISP і її діалекту VisualLISP з забезпеченням повного програмного доступу до кресленників AutoCAD. Інтерфейс сервісного застосунку розроблений за допомогою мови управління діалоговими вікнами в DCL.

В результаті розробки, систему AutoCAD було доповнено сервісним застосунком для побудови черв'ячної фрези. Дотримуючись традиційної для AutoCAD технології розробки, сервісний застосунок має відкриту архітектуру та може бути вільно модифікований або розширений іншими проєктованими різальними інструментами.

Використання створеного сервісного застосунку дозволить підвищити ефективність роботи конструктора-технолога за рахунок скорочення часу виконання рутинних розрахункових операцій, а також точність проєктованого інструменту, а відповідно й якість оброблюваних виробів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Семенченко, И. И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Рипол Классик, 2013. – 960 с.
2. Составные части и элементы инструментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metalcutting.ru/content/sostavnyye-chasti-i-elementy-instrumentov>.
3. Колесников, Б. Р. Формообразование твердосплавного инструмента на шлифовально-заточном центре / Б. Р. Колесников // Молодой ученый. – 2017. – № 16 (150). – С. 181-184.
4. Конструкция прошивок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studfile.net/preview/3610502/page:35/..](https://studfile.net/preview/3610502/page:35/)
5. Зуборезные червячные фрезы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/80/584/14713-41.php>
6. Застосування зубчастих передач та їхня класифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/zastosuvanna-zubcastih-peredac-ta-ihna-klasifikacia-119238.html>.
7. Червячная фреза как надежный инструмент для шлицевых валов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tutmet.ru/freza-chervyachnaya.html>
8. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/601800/>.
9. Зуборезный инструмент для цилиндрических колёс. Общие сведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.info.instrumentmr.ru/instrum_cil_koles.shtml.
10. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии: ГОСТ 16532-70. – [Чинний від 1972-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 44 с.

11. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем: ГОСТ 9324–80. – [Чинний від 1982-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 51 с.

12. Крепление инструментов на оправках. Типы и размеры: ГОСТ 9472-90. – [Чинний від 1991-07-01]. — М.: Изд-во стандартов, 1991. – 15 с.

13. Выход резьбы. Сбеги, недорезы, проточки и фаски: ГОСТ 10549-80. – [Чинний від 1982-01-01]. — М.: Изд-во стандартов, 1982. – 12 с.

14. Проектирование металлорежущих инструментов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sigma-test.ru/publitsistic/met/26/index.shtml>.

15. Прудников, Ю. П. Расчет и проектирование зуборезных инструментов: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. П. Прудников, Г. И. Киреев. – Режим доступа: http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/345/26345/9240?p_page=2.

16. КОМПАС-3D v17. Руководство пользователя: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/publications/docs/>.

17. Four Key Capabilities & Four Distinct Advantages of SOLIDWORKS Professional: [Electronic resource]. – Access mode: <https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2019/04/four-key-capabilities-and-four-distinct-advantages-of-solidworks-professional.html>.

18. Обновления LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.ru/release/5.4/livelink-creo-parametric>.

19. Михайлов, А. САПР для инженера. Что нового в AutoCAD 2020 [Электронный ресурс] / А. Михайлов. – Режим доступа: <https://mikhailov-andrey-s.blogspot.com/>.

20. Требования к системе для AutoCAD 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/rqzt>.

21. Свірневський, М. С. Розробка додатків для продуктів Autodesk: навчальний посібник. / М. С. Свірневський. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 316 с.
22. Толстоба, Н. Д. Системы автоматизированного конструирования: методические указания / Н. Д. Толстоба. – СПб.:СПбГИТМО(ТУ), 2002.– 54с.
23. Руководство пользователя по АВТОЛИСПу: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.codenet.ru/progr/alisp/>.
24. Программирование на AutoLISP: [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://aco.ifmo.ru/~nadinet/html/lectures/lect_lsp.html.

ДОДАТОК А
Текст програми

```

; Створення основного шару
(defun olayer (lcolor ltype lweight ui_str def_lname)
  (setq lname ui_str)
  (if(= lname "")
    (setq lname def_lname)
  )
  (command "layer" "new" lname
    "color" lcolor lname
    "ltype" ltype lname
    "lweight" lweight lname "")
  )
  (eval lname)
)

; Створення шарів та основні налаштування середовища
(defun tune_env (/ ui_lbase ui_laxial ui_ltbse ui_ldim)
  (command "snap" "off")
  (setvar "osmode" 0)
  (setvar "dimto" 1)
  (setvar "cmdecho" 0)
  (setvar "lwdisplay" 1)
  (setvar "dimexo" 0)
  (setvar "aperture" 5)
  (setvar "ltscale" 2)
  (setvar "dimtxt" 0.8)
  (setvar "dimasz" 0.8)
  (setq
    layer_base (olayer "7" "continuous" "0.30" base_layer_ui "base")
    layer_axial (olayer "9" "center" "0.15" axis_layer_ui "axial")
    layer_thin (olayer "7" "continuous" "0.15" thin_layer_ui "tbse")
    layer_dims (olayer "9" "continuous" "0.15" dim_layer_ui "dim2")
  )
)

```

```

;Отримання слайду
(defun showImage(isMain)

```

```

  (if (= isMain "1")
    (progn
      (start_image "sampleV")
      (fill_image 0 0 (dimx_tile "sampleV") (dimy_tile "sampleV") 0 )
      (slide_image 0 0 (dimx_tile "sampleV") ( - (dimy_tile "sampleV") 10 )
"freza(mainView)")
      (end_image)
    )
  )

  (if (= isMain "0")
    (progn
      (start_image "sampleV")
      (fill_image 0 0 (dimx_tile "sampleV") (dimy_tile "sampleV") 0 )
      (slide_image 0 0 (dimx_tile "sampleV") (dimy_tile "sampleV")
"freza(sideView)")
      (end_image)
    )
  )
)

```

```

)

;Отримання списку розмірів
(defun Lims_l_d(d_index L_D / d_all d_Lb L_all Li Ld)

  (setq
    d_all ( nth 0 L_D)
    d_Lb ( nth 1 L_D)
    L_all ( nth 2 L_D))

  (setq Li nil)

  (setq Ld nil)

  (setq lims (cdr (assoc (nth (atoi d_index) d_all) d_Lb)))
  (foreach Li L_all

    (if (and (>= Li (caar lims)) (<= Li (cadr (last lims))))
      (setq Ld (append Ld (list (rtos Li 2 2))))

    )

  )
  (append Ld)
)

;Вхідна точка
(defun freza (/ base_layer thin_layer axial_layer dim_layer d_ll d_Lb L_all L_D d_string
  x_UI y_UI d_ui l_ui mainViewUI sideViewUI isSize flag angUI luckyEnd formDCI selpoint b
L Li lims
)

  (setq d_all (list
    5.0 6.0 8.0 10.0 12.0 16.0 20.0))

  (setq d_Lb (list
    '( 5.0 ( 14.0 16.0 0.0) ( 20.0 45.0 16.0))
    '( 6.0 ( 14.0 20.0 0.0) ( 25.0 50.0 18.0))
    '(8.0 ( 16.0 25.0 0.0) ( 30.0 50.0 22.0))
    '(10.0 ( 20.0 30.0 0.0) ( 35.0 60.0 26.0))
    '(12.0 ( 30.0 30.0 0.0) ( 35.0 70.0 30.0))
    '(16.0 ( 40.0 40.0 0.0) ( 45.0 90.0 38.0))
    '(20.0 ( 50.0 50.0 0.0) ( 55.0 110.0 46.0))
  )) ; d_Lb

  (setq L_all (list
    14.0 16.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0
    60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 90.0 100.0 110.0)) ; L_all

  (setq L_D (list d_all d_Lb L_all))

  (setq d_string (list
    "5.0" "6.0" "8.0" "10.0" "12.0" "16.0" "20.0"))

  (setq S_string (list
    "5.0" "7.0" "8.0" "10.0" "12.0" "17.0" "22.0"))

  (setq
    x_UI "0"
    y_UI "0"
    d_ui "0"
    l_ui "0"
    S_ui "0"

```

```

    flag 4
    mainViewUI "1"
    sideViewUI "0"
    isSize "0"

    base_layer_ui "base"
    thin_layer_ui "tbase"
    axis_layer_ui "axial"
    dim_layer_ui "dim"

    angUI "0"
    luckyEnd nil
  )

;Відкриття форми DCL
(setq formDCl (load_dialog " freza_dialog.DCL"))

(while (> flag 2)

  (if (not (new_dialog "freza" formDCl))
      (exit)
    )

  (progn
    (start_list "d_list")
    (mapcar 'add_list d_string)
    (end_list)

    (start_list "s_list")
    (mapcar 'add_list S_string)
    (end_list)

    (start_list "l_list")
    (mapcar 'add_list (Lims_l_d d_ui L_D))
    (end_list)
  )

;Обробники подій
(action_tile "d_list" "(setq d_ui $value) (start_list \"l_list\") (mapcar 'add_list (Lims_l_d d_ui
L_D)) (end_list) (set_tile \"l_list\" \"0\") (setq l_ui \"0\") (setq S_ui d_ui) (set_tile \"s_list\" d_ui)")
(action_tile "s_list" "(setq S_ui $value) (setq d_ui s_ui) (set_tile \"d_list\" d_ui) (start_list \"l_list\")
(mapcar 'add_list (Lims_l_d d_ui L_D)) (end_list) (set_tile \"l_list\" \"0\") (setq l_ui \"0\"))"
(action_tile "l_list" "(setq l_ui $value)")

(action_tile "main_layer" "(setq base_layer_ui $value)")
(action_tile "thin_layer" "(setq thin_layer_ui $value)")
(action_tile "axis_layer" "(setq axis_layer_ui $value)")
(action_tile "size_layer" "(setq dim_layer_ui $value)")

(action_tile "pointX" "(setq x_UI $value)")
(action_tile "pointY" "(setq y_UI $value)")

(action_tile "main_rb" "(setq mainViewUI $value) (setq sideViewUI \"0\") (showImage
mainViewUI)")
(action_tile "side_rb" "(setq sideViewUI $value) (setq mainViewUI \"0\") (showImage
mainViewUI)")
(action_tile "is_sizes" "(setq isSize $value)")

```

```

(action_tile "angle_rot" "(setq angUI $value)")

;Задати значення параметрів
(set_tile "d_list" d_ui)
(set_tile "l_list" l_ui)
(set_tile "s_list" S_ui)
(set_tile "pointX" x_UI)
(set_tile "pointY" y_UI)

(set_tile "main_layer" base_layer_ui)
(set_tile "thin_layer" thin_layer_ui)
(set_tile "axis_layer" axis_layer_ui)
(set_tile "size_layer" dim_layer_ui)

(set_tile "main_rb" mainViewUI)
(set_tile "side_rb" sideViewUI)
(set_tile "is_sizes" isSize)
(set_tile "angle_rot" angUI)

(showImage mainViewUI)

(action_tile "cancel" "(done_dialog)")
(action_tile "accept" "(done_dialog) (setq luckyEnd t)")

(action_tile
"select_point"
"(done_dialog 4)"
)
;Обрання координати на кресленику
(setq flag (start_dialog))

(if (= flag 4)
(progn

(setq selpoint (getpoint "\nInsertion Point: "))
(setq x_UI (rtos (car selpoint) 2 4))
(setq y_UI (rtos (cadr selpoint) 2 4))
)
)

)
; Закриття форми
(unload_dialog formDCI)

(setq L (atof (nth (atoi l_ui) (Lims_l_d d_ui L_D))))

(foreach Li lims
(if (and (>= L (car Li)) (<= L (cadr Li)))
(setq b (caddr Li))
)
)

(if (zerop b)
(setq b L)
)

(setq
d_other (list
'( 5.0 5.0 3.5 6.5 7.5 0.2 3.5 0.433 2.0)
'( 6.0 7.0 5.5 9.00 11.0 0.25 4.0 0.5415 2.0)

```

```

'( 8.0 8.0 5.5 10.00 14.0 0.4 5.5 0.6765 2.0)
'(10.0 10.0 7.0 13.00 16.0 0.4 7.0 0.812 3.0)
'(12.0 12.0 8.00 16.0 20.0 0.6 8.5 0.945 3.0)
'(16.0 17.0 10.00 22.0 25.0 0.6 12.0 1.0825 4.0)
'(20.0 22.0 13.00 28.0 30.0 0.8 15.0 2.706 5.0)
)) ; d_other
(setq other (nth (atoi d_ui) d_other))

```

```

(setq input_result
(list
(atof x_UI) (atof y_UI) (atof angUI)
L b isSize
))

```

```

(setq input_result
  (append input_result
    other
  )
)

```

```

;При вірному закритті форми накреслити фрезу
(if luckyEnd
(progn
  (tune_env)
  (if (= mainViewUI "1")
    (plot_main input_result)
  )
(plot_side input_result)
) ; if
)
)

```

```

;Креслення профілю
(defun plot_side (pd / x0 y0 e s D D1 grad razm P Pp S2 cside isDim)

```

```

  (setq
    x0 (nth 0 pd)
    y0 (nth 1 pd)
    e (nth 9 pd)
    s (nth 7 pd)
    D (nth 10 pd)
    D1 (* 0.9 s)
    grad (nth 2 pd)
    P (- (* (sqrt 2) S) e)
    Pp (sqrt (/ (* P P) 2))
    S2 (/ s 2)
    isDim (nth 5 pd)
    PT1 (list x0 y0)
    PT2 (list (- x0 S2) (- y0 S2))
    PT3 (list (+ x0 S2) (+ y0 S2))
    PT4 (list x0 (+ y0 S2))
    PT5 (list x0 (+ y0 (/ D 2.0) 1.0))
    PAX1 (list (- x0 D 10.0) (- y0 D 10.0) )
    PAX2 (list (+ x0 D 10.0) (+ y0 D 10.0) )
    PAX3 (list x0 (- y0 1.0 (/ D 2.0)) )
    PAX4 (list x0 (+ y0 1.0 (/ D 2.0)) )
    PAX5 (list (- x0 1.0 (/ D 2.0)) y0)
    PAX6 (list (+ x0 1.0 (/ D 2.0)) y0)
    PD1 (list (- x0 (/ s 2.0)) y0)
  )

```

```

PD2 (list (+ x0 (/ s 2.0)) y0)
PD3 (list x0 (+ y0 (/ D 2.0) 1.0 ))
PD4 (list (- x0 (/ D 2.0)) y0 )
PD5 (list (+ x0 (/ D 2.0)) y0 )
PD6 (list x0 (- y0 6.0 (/ D 2.0) ))
PD7 (list (- x0 (/ e 2.0)) y0 )
PD8 (list (+ x0 (/ e 2.0)) y0 )
PD9 (list x0 (- y0 4.0 (/ D 2.0) ))
)
(setq cside (ssadd))

```

```
(command "zoom" "window" PAX1 PAX2 )
```

```

;Креслення основного виду
(command "layer" "set" layer_base "")
(command "RECTANG" "c" Pp Pp PT2 PT3 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "layer" "set" layer_dims "")
(if (= isDim "1")
  (progn
    (command "dimlinear" PD1 PD2 PD3 )
    (setq cside (ssadd (entlast) cside))
  ) ; progn
) ; if

```

```

(command "layer" "set" layer_base "")
(command "rotate" PT4 PT5 "" PT1 45 )
(command "CIRCLE" PT1 "d" D)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "CIRCLE" PT1 "d" D1)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))

```

```

(command "layer" "set" layer_axial "")
(command "LINE" PAX3 PAX4 "" )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "LINE" PAX5 PAX6 "")
(setq cside (ssadd (entlast) cside))

```

```

;Креслення розмірних ліній
(command "layer" "set" layer_dims "")

```

```

  (if (= isDim "1")
    (progn
      (command "dimlinear" PD4 PD5 PD6 )
      (setq cside (ssadd (entlast) cside))
      (command "dimlinear" PD7 PD8 PD9 )
      (setq cside (ssadd (entlast) cside))
    ) ; progn
  ) ; if

```

```

(command "layer" "set" layer_base "")
;Поворот об'єкту
(command "rotate" cside "" PT1 grad )

)

```

```

;Креслення бічного виду
(defun plot_main (pd / baseP x0 y0 dia S k e D R dp tt k1 b L D1 P grad isDim cside grad4 grad135)
)
  (setq
    baseP (list (nth 0 pd) (nth 1 pd))

```

```

x0 (nth 0 pd)
y0 (nth 1 pd)
dia (nth 6 pd)
S (nth 7 pd)
k (nth 8 pd)
e (nth 9 pd)
D (nth 10 pd)
R (nth 11 pd)
dp (nth 12 pd)
tt (nth 13 pd)
k1 (nth 14 pd)
b (nth 4 pd)
L (nth 3 pd)
D1 (* 0.9 S)
P (- (* (sqrt 2) S) e)
grad (nth 2 pd)
isDim (nth 5 pd)
ED (/ (/ (- e D1) 2.0) (sqrt 3))
grad4 (/ (* pi 45.0) 180.0)
grad135 (/ (* pi 135.0) 180.0)

PT1 (list x0 y0)
PT2 (list (- x0 k1 (- k ED)) (- y0 (/ P 2.0)) )
PT3 (list (- x0 k1) (+ y0 (/ P 2.0)) )
PT4 (list (- x0 k1) (- y0 (/ D 2.0)) )
PT5 (list x0 (+ y0 (/ D 2.0)) )
PT6 (list x0 (- y0 (/ dia 2.0)))
PT7 (list (+ x0 L) (+ y0 (/ dia 2.0)))
PT8 (list (+ x0 L) y0)
PT9 (list (+ x0 (/ L 2.0)) (+ y0 (/ dia 2.0)))
PT10 (list (+ x0 (/ L 2.0)) (- y0 (/ dia 2.0)))
PT11 (list (+ x0 (- L b)) (+ y0 (/ dia 2.0)))
PT12 (list (+ x0 (- L (/ (- dia dp) 2.0))) (- y0 (/ dia 2.0)) )
PT13 (list (+ x0 (- L b)) (- y0 (- (/ dia 2) tt)) )
PT14 (list (+ x0 L 2.0) (+ y0 (- (/ dia 2) tt)) )
PT15 (list (+ x0 L 2.0) y0)
PT16 (list (- x0 k k1) (- y0 (/ e 2.0)) )
PT17 (list (- x0 k1) (+ y0 (/ e 2.0)) )
PT18 (list (- x0 (/ k 2) k1) (- y0 (/ e 2.0)) )
PT19 (list (- x0 k1 (/ k 2)) (+ y0 (/ e 2.0)) )
PT20 (list (- x0 k k1) y0)
PT21 (list x0 (- (- y0 (/ dia 2.0)) 0.5))
PT22 (list (+ x0 L 2.0) (- y0 (- (/ dia 2) tt)) )
PT23 (list (- x0 k1 k) (- y0 (/ D1 2.0)) )
PT24 (list (- x0 k1 (- k ED)) (- y0 (/ e 2.0)) )
PT25 (list (- x0 k1 k 2.0) (- y0 0.5 (/ D1 2.0)) )
PT26 (list (+ 1.0 (- x0 k1 k)) (- y0 0.75 (/ D1 2.0)) )
PT27 (list (+ 0.5 (- x0 k1 k)) (+ y0 0.5 (/ D1 2.0)) )
PT28 (list (+ 1.0 (- x0 k1 k)) (+ 0.5 (- y0 (/ D1 2.0)))) )
PT29 (list (- x0 k1 (- k ED)) (+ y0 (/ P 2.0)) )
PT30 (list (- x0 k1 k) (+ y0 (/ D1 2.0)) )
PT31 (list (- x0 k1 (- k ED)) (+ y0 (/ e 2.0)) )
PT32 (list (- x0 k1 k 2.0) (+ y0 (/ D1 2.0) (- 0.5)) )

PAX1 (list (- x0 (+ k k1) 10.0) (- y0 (/ D 2.0) 10.0))
PAX2 (list (+ x0 L 10.0) (+ y0 (/ D 2.0) 10.0))
PAX3 (list (- x0 k k1 1.0) y0)
PAX4 (list (+ x0 L 1.0) y0)

PD1 (list (- x0 k1 k 6.0) y0)
PD2 (list (- x0 k k1) (+ y0 0.1 (/ D1 2.0)))

```

```

PD3 (list (+ 0.1(- x0 k1 k)) (+ y0 D))
PD4 (list (- x0 k1 k 4.0) y0)
PD5 (list (+ x0 L (- 3.0)) (+ y0 (/ dia 2.0)))
PD6 (list (+ x0 L) (+ y0 (/ dp 2.0)))
PD7 (list (+ x0 L (- 1) (- dia)) (+ y0 dia 2.0))
PD8 (list x0 (+ y0 (/ dia 2.0)))
PD9 (list (+ x0 L 5.0) y0)
PD10 (list (+ x0 (/ dia 2.0)) (+ y0 dia))
PD11 (list (- x0 (+ k k1) 10.0) (- y0 (/ D 2.0) 10.0) )
PD12 (list (+ x0 L 10.0) (+ y0 (/ D 2.0) 10.0) )
PD13 (list x0 (- y0 (/ D 2.0)) )
PD14 (list (+ x0 L) (- y0 (/ dp 2.0)))
PD15 (list (+ x0 1.0) (- y0 4.0 (/ D 2.0)))
PD16 (list (+ x0 L 7.0) y0)
PD17 (list (+ x0 L) (+ y0 (/ dp 2.0)) )
PD18 (list (- x0 0.5) (- y0 4.0 (/ D 2.0)))
PD19 (list (- x0 0.5) (- y0 2.0 (/ D 2.0)))
PD20 (list (+ x0 (- L (/(- dia dp) 2.0))) (+ y0 (/ dia 2.0)) )
PD21 (list (+ x0 L (- 1.0)) (- y0 4.0 (/ D 2.0)))
PD22 (list (+ x0 (- L b)) (- y0 (/ dia 2.0)) )

```

```
)
```

```
(setq cside (ssadd))
```

```
(command "zoom" "window" PAX1 PAX2 )
```

```
(command "layer" "set" layer_base "")
```

```
(command "RECTANG" "c" 0.0 0.0 PT4 PT5 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "RECTANG" PT6 PT7 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "CHAMFER" "t" "t" "a" (/ (- dia dp) 2.0) 45.0 PT8 PT9 )
```

```
(command "CHAMFER" PT8 PT9 )
(command "CHAMFER" PT8 PT10 )
```

```
(command "FILLET" "r" R )
```

```
(command "FILLET" PT5 PT9 )
(command "RECTANG" PT4 PT5 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "FILLET" PT21 PT10 )
(command "RECTANG" PT4 PT5 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "RECTANG" PT11 PT12 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "layer" "set" layer_thin "")
(command "RECTANG" PT13 PT14 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "TRIM" "all" "" PT15 PT14 PT22 "")
(command "layer" "set" layer_base "")
```

```
(command "RECTANG" PT16 PT17 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "ARC" PT2 PT23 PT24 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "TRIM" "all" "" PT25 PT26 "")
(command "TRIM" "all" "" PT25 PT28 "")
```

```
(command "ARC" PT29 PT30 PT31 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "TRIM" "all" "" PT32 PT27 "")
```

```
(command "ERASE" PT20 PT16 "")
(command "RECTANG" PT16 PT17 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "CHAMFER" "t" "t" "a" (/ (- e D1) 2.0) 30.0 )
(command "CHAMFER" PT20 PT18 )
(command "CHAMFER" PT20 PT19 )
(command "RECTANG" PT2 PT3 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
;Креслення розмірних ліній
(command "layer" "set" layer_dims "")
```

```
(if (= isDim "1")
(progn
```

```
(command "DIMANGULAR" PT20 (osnap PD2 "Midpoint") PD3)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "zoom" "c" PT7 10 )
(command "DIMANGULAR" PD5 "nea" (polar PD6 grad135 0.2) PD7)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "zoom" "c" PD8 5)
(command "dimradius" (polar PD8 grad4 (- (* R (sqrt 2.0))R) ) PD10 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "zoom" "window" PD11 PD12 )
```

```
(command "dimlinear" PD13 PD14 PD15)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "dimlinear" PD13 PT4 PD18)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "dimlinear" PT4 PT23 PD21 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(if (/= b L)
(command "dimlinear" PD22 PD14 PD19 )
```

```
)
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "dimlinear" PD20 PT12 PD16 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
(command "dimlinear" PD14 PD17 PD9 )
(setq cside (ssadd (entlast) cside))
```

```
(command "dimlinear" PT2 PT29 PD4 )
```

```

      (setq cside (ssadd (entlast) cside))
      (command "dimlinear" PT23 PT30 PD1 )
      (setq cside (ssadd (entlast) cside))

    ) ; progn
  ) ; if
  (command "layer" "set" layer_axial "")
  (command "LINE" PAX3 PAX4 "" )
  (setq cside (ssadd (entlast) cside))

  (command "layer" "set" layer_base "")
  ;Поворот объекта
  (if (/= grad 0.0)
    (command "rotate" cside "" PT1 grad )
  )

) ; defun plot_main

```

ДОДАТОК Б
Слайди презентації

Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра програмних засобів

Дипломна робота на тему: РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Виконала
студентка групи КНТ-227

А. Е. Троян

Керівник,
к.т.н., доц.

А.В. Пархоменко

Рисунок Б.1 – Слайд 1



Рисунок Б.2 – Слайд 2

Мета та задачі проєкту

3

Метою дипломної роботи є розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу проєктування різального інструменту для підвищення ефективності праці технолога та якості продукції, що випускається.

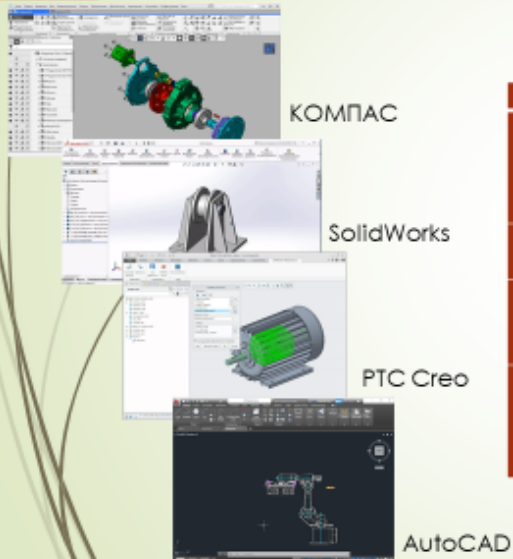
Задачі дипломної роботи:

- виконати вибір середовища проєктування та інструментарію розробки сервісного застосунку для автоматизованого проєктування різального інструменту;
- виконати програмну реалізацію сервісного застосунку для розрахунку конструктивних параметрів та креслення основних видів різального інструменту;
- розробити графічний інтерфейс сервісного застосунку для зручного діалогу з конструктором-технологом;
- розробити програмну документацію.

Рисунок Б.3 – Слайд 3

Вибір середовища проєктування та засобів розробки

4



Засоби програмування	Функції
AutoLisp	Автоматизація процесу підготовки проєктування, створення нових команд, отримання та збереження інформації за поточним кресленням, створення скриптів і зміна інформації в поточному файлі
DCL	Розробка графічного інтерфейсу, виклик і управління діалогом з Lisp-програми.
VBA	Зміна і доповнення графічного інтерфейсу користувача, створення нових команд, об'єднання Windows-програм і AutoCAD в єдиний комплекс
ObjectARX	Доповнення AutoCAD новими об'єктами, класами, протоколами, методами і механізмами обробки інформації встановлення зв'язку AutoCAD з різними системними подіями і зовнішніми пристроями

Рисунок Б.4 – Слайд 4



Рисунок Б.5 – Слайд 5

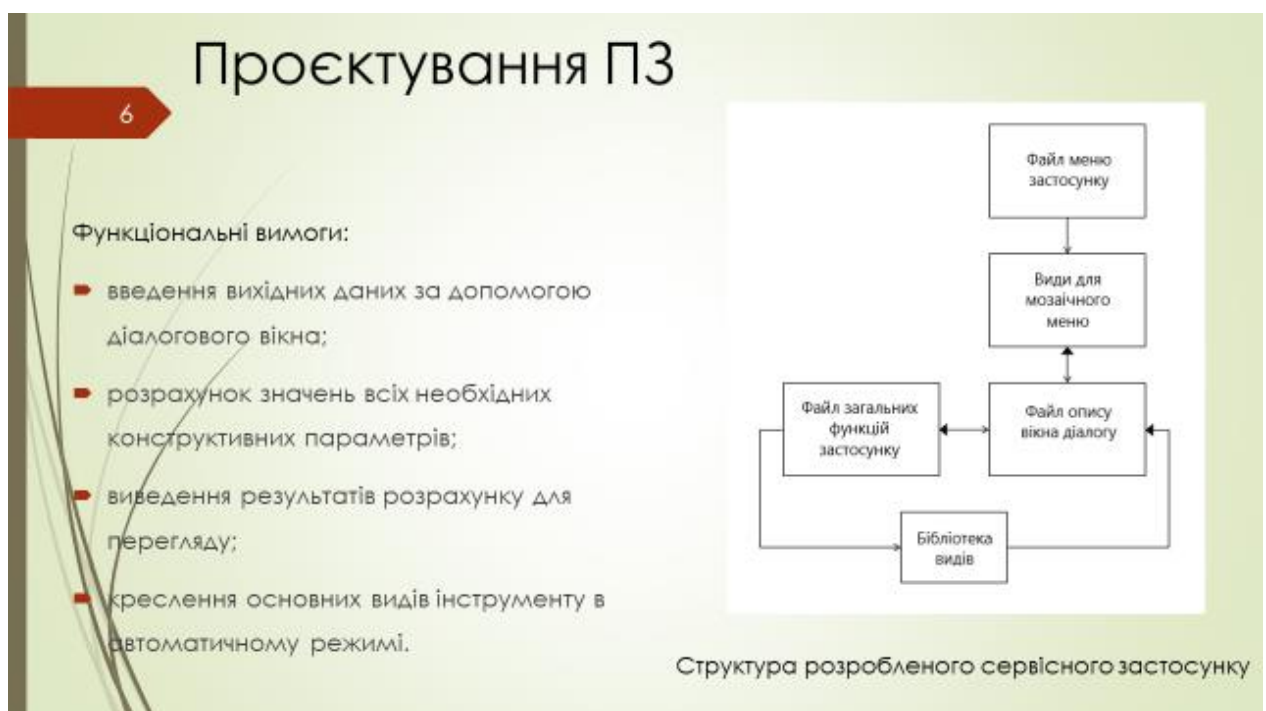


Рисунок Б.6 – Слайд 6

Конструювання ПЗ

7

Ідентифікатор	Коментар
freza_m	Креслення бічного виду
freza_a	Креслення головного виду
freza_p	Креслення нормального профіля
freza_start	Менеджер управління запуском функцій креслення згідно отриманих даних з вікна діалогу, ініціалізація середовища AutoCAD
define_freza	Повертає список основних параметрів конструктивних елементів (див. табл. 3.2) і закодований режим креслення
prepare	Ініціалізація шарів, типів, кольору й товщини ліній

Функції програми

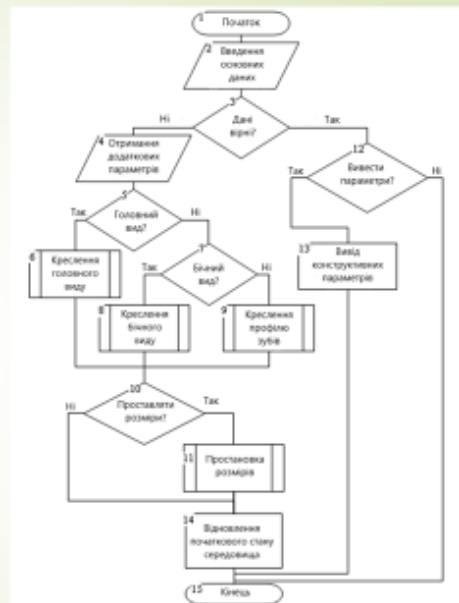


Схема алгоритму головної програми

Рисунок Б.7 – Слайд 7

Конструювання ПЗ

8

Ідентифікатор	Коментар
layer	Операції з зазначеним шаром
pline	Полілінія
line	Лінія
circle	Коло
zoom	Управління масштабом зображення креслення
regenall	Регенерація зображення після збільшення
rotate	Обертання вибраних примітивів навколо зазначеної точки
dimlinear	Простановка лінійного розміру
dimradius	Простановка радіального розміру
dimdiameter	Простановка розміру діаметру

Команди AutoCAD

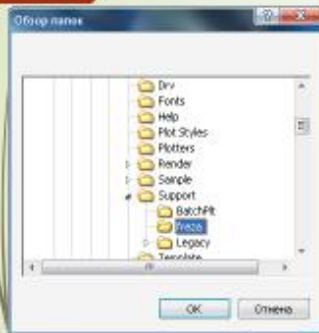
Ідентифікатор	Коментар
setq	Групове призначення змінним значень
command	Виконання команди AutoCAD
if	Розгалуження за умовою
setqvar	Установка значення системної змінної
getvar	Отримання значення системної змінної
osnap	Отримання координати точки з урахуванням зазначених прив'язок
progn	Операторні дужки
list	Створення списку з аргументів
print	Виведення в командний рядок AutoCAD
exit	Вихід з програми
ssadd	Додавання примітиву до набору або створення порожнього набору примітивів
entlast	Отримання ідентифікатором останнього наміченого примітиву
foreach	Виконання дії для кожного елемента списку
alert	Вікно повідомлення про помилку
while	Цикл, який виконується поки деякий умовою одно true
load_dialog	Завантаження файлу опису діалогу на мові DCL

Функції AutoLISP

Рисунок Б.8 – Слайд 8

Налаштування сервісного застосунку

9



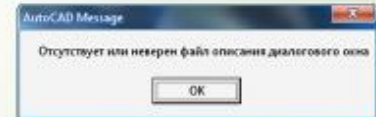
Додавання шляху до сервісного застосунку



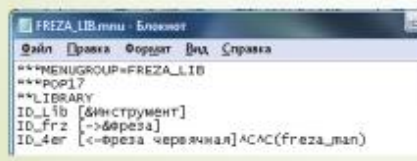
Завантаження файлів меню



Виклик сервісного застосунку



Помилка налаштування

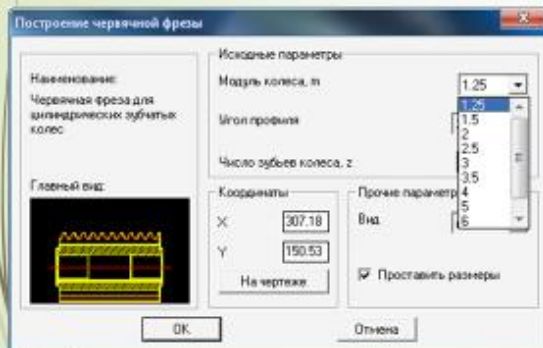


Опис меню

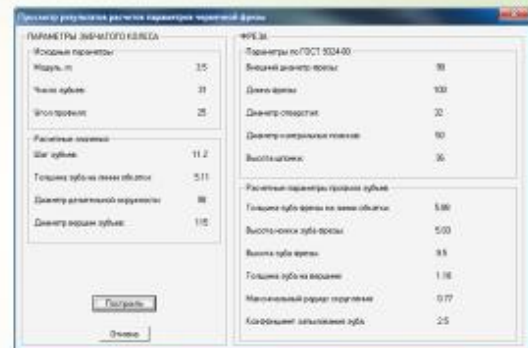
Рисунок Б.9 – Слайд 9

Екранні форми застосунку

10



Форма введення вхідних даних



Форма виведення конструктивних параметрів колеса та фрези

Рисунок Б.10 – Слайд 10



Рисунок Б.13 – Слайд 13