

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
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR TECHNOLOGICAL
PREPARATION OF MACHINING

Виконав: студент 4 курсу, групи КНТ-217
Спеціальності 122 Комп'ютерні науки
забезпечення
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Комп'ютерні науки

Тимохов А.М.
(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)

Тимохова Антона Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка програмного забезпечення для технологічної підготовки механічної обробки. Software Development for Technological Preparation of Machining.

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. Дослідження технологій програмування для верстатів з ЧПУ. 3. Розробка програмного забезпечення для автоматизації технологічної підготовки механічної обробки. 4. Керівництво програміста. 5. Керівництво оператора.

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 програмного забезпечення	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

(підпис)

Тимохов А.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Пархоменко А.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра: 73 с., 22 рис., 1 табл., 3 дод., 26 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА, ПРОГРАМА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ЕЛЕМЕНТАРНА ПОВЕРХНЯ, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ, АНІМАЦІЯ РУХУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА.

Об'єкт дослідження – автоматизована технологічна підготовка виробництва.

Предмет дослідження – методи та засоби розробки програмного забезпечення для верстатів з числовим програмним управлінням.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення формування конструктивно-технологічних елементів для автоматизації технологічної підготовки механічної обробки.

Матеріали, методи та технічні засоби: об'єктно-орієнтоване програмування, мова програмування C++, фреймворк Microsoft .NET Framework 4.5, середовище Qt Creator 5.1.1, персональний комп'ютер сумісний з IBM PC, процесор Intel Pentium 1 ГГц або вище, оперативна пам'ять з мінімальним об'ємом 1Гб, вільне місце на диску 4,5 Гб.

Результати. Створено програму, яка виконує обробку даних щодо елементарних поверхонь та формує конструктивно-технологічні елементи для подальшої механічної обробки на верстаті з ЧПУ.

Висновки. Розроблено програмну систему, що об'єднує власну програму автоматизації технологічної підготовки виробництва та існуючу САМ-систему для розробки керуючої програми для верстата з ЧПУ.

Галузь використання – автоматизоване виробництво деталей для машинобудування та радіоприладобудування.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 73 pages, 22 figures, 1 tables, 3 appendixes, 26 sources.

AUTOMATED TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION, MECHANICAL PROCESSING PROGRAM, ELEMENTARY SURFACE, CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL ELEMENT, ANIMATION OF THE MOVEMENT OF THE CUTTING TOOL.

Object of study is an automated technological preparation of production.

Subject of study are methods and tools of software development for machines with computer numerical control.

The goal of the work is the development of software for the formation of structural-technological elements for automation of technological preparation of machining.

Materials, methods, and tools: object-oriented programming, C++ programming language, Microsoft .NET Framework 4.5, IDE Qt Creator 5.1.1, personal computer compatible with IBM PC, Intel Pentium 1 GHz processor or higher, RAM with minimal 1GB, free disk space 4,5 GB.

Results. A program has been created that processes data on elementary surfaces and forms structural-technological elements for further machining on a CNC machine.

Conclusions. The software system has been developed that combines own program of automation of technological preparation of production and the exist CAM-system for the development of a control program for a CNC machine.

The area of application is automated production of parts for mechanical engineering and radio equipment.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Числове програмне управління	10
1.2 Особливості використання САМ-систем для технологічної підготовки механічної обробки	11
1.3 Огляд існуючих САМ-систем.....	14
1.4 Постановка задач дипломної роботи	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ 23	
2.1 Аналіз способів розробки програм для верстатів з ЧПУ	23
2.2 Огляд систем та мов програмування.....	24
2.3 Висновки до розділу 2	27
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	28
3.1 Призначення та функціональні можливості програми	28
3.2 Аналіз вхідних даних	28
3.3 Вибір мови та середовища програмування	31
3.4 Структура та реалізація програми	32
3.5 Алгоритм та програма автоматизованої механічної обробки	35
3.6 Висновки до розділу 3	42
4 КЕРІВНИЦТВО ПРОГРАМІСТА	43
4.1 Призначення програми	43
4.2 Умови виконання програми	43
4.3 Характеристика програмної системи	44
4.4 Звернення до програми	44
4.5 Вхідні та вихідні дані.....	44
4.6 Повідомлення	45

5 КЕРІВНИЦТВО ОПЕРАТОРА	47
5.1 Призначення програми	47
5.2 Умови виконання програми	47
5.3 Виконання програми.....	47
5.4 Повідомлення оператору	49
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	52
Додаток А Текст програми.....	55
Додаток Б Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки	62
Додаток В Слайди презентації.....	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

CAD	- Computer Aided Design;
CAM	- Computer Aided Manufacturing;
CNC	- Computer Numerical Control;
CL	- Cutter Location;
MCD	- Machine Code Data;
NC	- Numerical Control;
КТЕ	- конструктивно-технологічний елемент;
ОЗП	- оперативний запам'ятовуючий пристрій;
ПЗ	- програмне забезпечення;
ПЗП	- постійний запам'ятовуючий пристрій;
ЧПУ	- числове програмне управління.

ВСТУП

Понад 70% виробів в машинобудуванні виготовляють в умовах дрібносерійного та серійного виробництва. Ефективним засобом автоматизації цих типів виробництва є числове програмне управління металорізальними верстатами. У верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) управління робочими органами в процесі механічної обробки проводиться автоматично, за заздалегідь розробленою програмою, без безпосередньої участі працівника. Програмне управління дозволяє: автоматизувати процес обробки; скоротити час налагодження верстата, зводячи всю наладку до установки інструменту, заготовки та програми на верстаті; організувати багатOVERSTATNE обслуговування в серійному і дрібносерійному виробництвах; підвищити продуктивність праці і якість оброблених деталей [1].

Процес технологічної підготовки такого виробництва є дуже складним, трудомістким та складається з багатьох етапів. Одним з найважливіших є етап розробки керуючої програми для верстатів з ЧПУ. Проблема полягає в тому, що багато розрахунків для формування траєкторії руху різального інструменту доводиться виконувати додатково та часто вручну.

Тому, задача розробки програмного забезпечення (ПЗ), що дозволить автоматизувати рутинні операції технологічної підготовки виробництва та таким чином зменшити час та знизити кількість помилок, є актуальною.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення формування конструктивно-технологічних елементів для автоматизації технологічної підготовки механічної обробки.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Числове програмне управління

ЧПУ – це комп'ютеризована система управління, що керує приводами технологічного обладнання, включаючи верстатне оснащення [1]. Обладнання з ЧПУ може бути представлено:

- верстатами для обробки різанням або тиском різних матеріалів;
- системою управління промисловими роботами;
- пристроями для оцифрування та виготовлення прототипів, наприклад 3D-принтер, або 3D-сканер [2] - [3].

Кілька верстатів з ЧПУ можуть об'єднуватися в гнучку автоматизовану виробничу систему, яка може увійти до складу виробничої автоматичної лінії [3].

Сучасні системи ЧПУ, так звані комп'ютеризовані системи управління (Computer Numerical Control, CNC) дозволяють використовувати для модифікації існуючих або розробки нових програм програмні засоби. Базою для побудови CNC можуть служити сучасні мікроконтролери або мікропроцесори [4].

Типові компоненти системи ЧПУ показані на рис. 1.1. Приклади розташування контролерів та вигляду панелі управління – на рис. 1.2. Основною складовою системи є контролер, що відповідає за виконання технологічних команд та управління процесом обробки, забезпечує формування програми на основі розрахунку траєкторії руху різального інструменту та режимів роботи. В якості контролера може використовуватися мікропроцесор, програмований логічний контролер або промисловий комп'ютер [4].

Верстати бувають: фрезерні, токарні, лазерні гравери та різакі, електроерозійного та абразивного різання, багатофункціональні обробні центри (наприклад, гібрид фрезерного верстата з ЧПУ та 3D-принтера) [5].

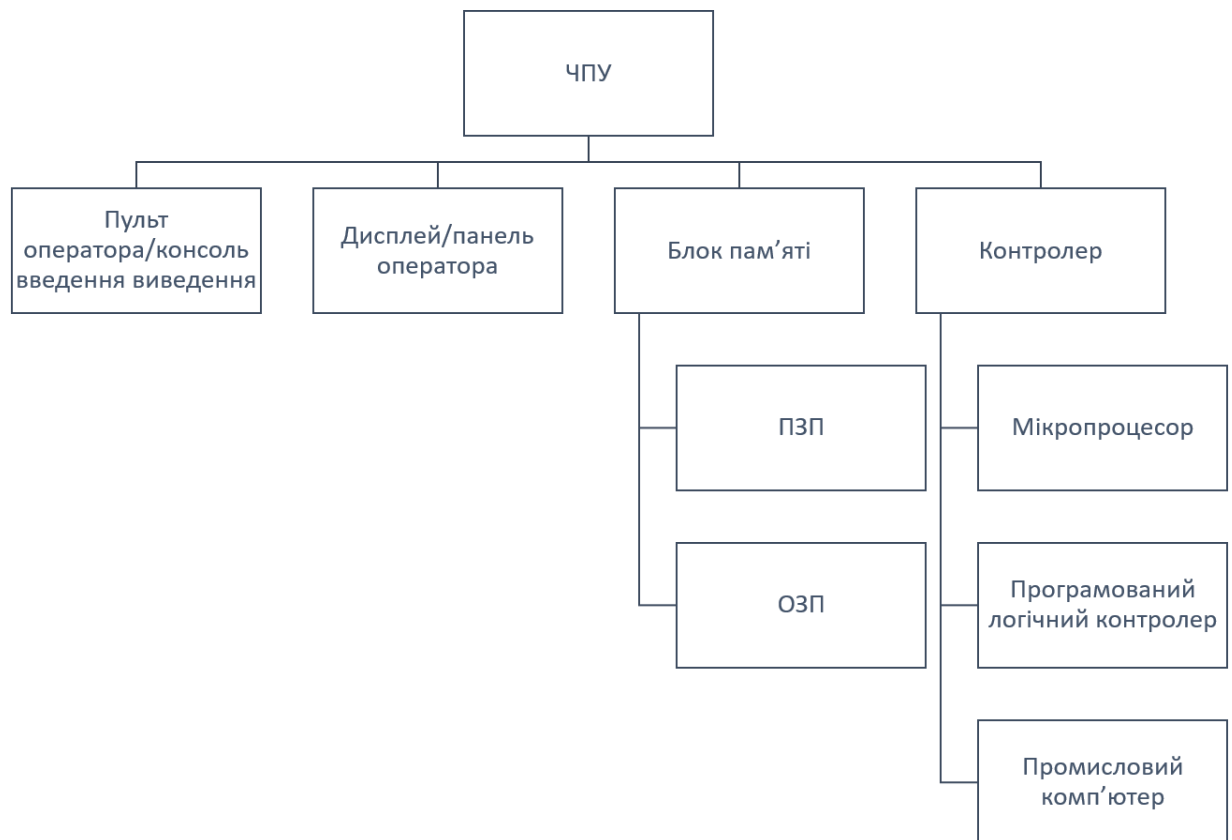


Рисунок 1.1 – Складові системи ЧПУ



а



б

Рисунок 1.2 – Контролери (а) та панель управління верстата з ЧПУ

Siemens Sinumerik [4]

1.2 Особливості використання САМ-систем для технологічної підготовки механічної обробки

Системи автоматизованої підготовки виробництва (Computer Aided Manufacturing, CAM) є ключовою ланкою, що інтегрує процеси проєктування

та виробництва. Програмне середовище САМ системи надає засоби розробки програм для верстатів з ЧПУ, починаючи з даних 3D геометричної моделі, яка створюється в системі автоматизованого проєктування (Computer Aided Design, CAD). Інформацію про потоки даних у САМ-системі наведено на рисунку 1.3. ПЗ САМ-системи може бути автономним застосунком, в якому геометрична інформація вводиться в стандартному форматі (DXF, STEP, IGES та ін.), або ж бути складовою частиною системи наскрізного автоматизованого проєктування. У будь-якому разі форма подання даних для CNC-машини є однаковою, тільки організація потоків даних відрізняється.

Потік даних у САМ-модулі наведено на рис. 1.3. Робота САМ-системи розпочинається з введення геометричних та технологічних даних. В процесі роботи САМ-системи відбувається розрахунок та створення траєкторії руху різального інструменту. В подальшому ця траєкторія може бути оптимізована, оскільки в процесі моделювання відбувається пошук варіанту найбільш ефективної та економічної обробки. Далі відбувається постобробка, тобто переведення опису траєкторії інструменту у відповідний верстату ISO-протокол. Це необхідний крок, оскільки кожен верстат використовує свою власну інтерпретацію стандартного ISO-DIN 66025 коду.

Основними етапами роботи з даними в САМ-системі є наступні.

Налаштування виробничої моделі. Цей етап передбачає вибір заготовки для подальшої обробки з метою видалення надлишків матеріалу до заданих розмірів згідно геометрії деталі.

Налаштування виробничої бази даних і операцій. Виробнича база даних містить описи мета-операцій системи обробки та специфічних параметрів. При цьому можуть бути введені три набори даних: дані про основні інструменти обробки (тип, діаметр, тощо); дані про верстат (назва та тип контролера, максимальна швидкість, тощо); дані про допоміжні інструменти та пристосування, за допомогою яких закріплюється заготовка та деталь. Цей етап також передбачає визначення системи координат обробки.

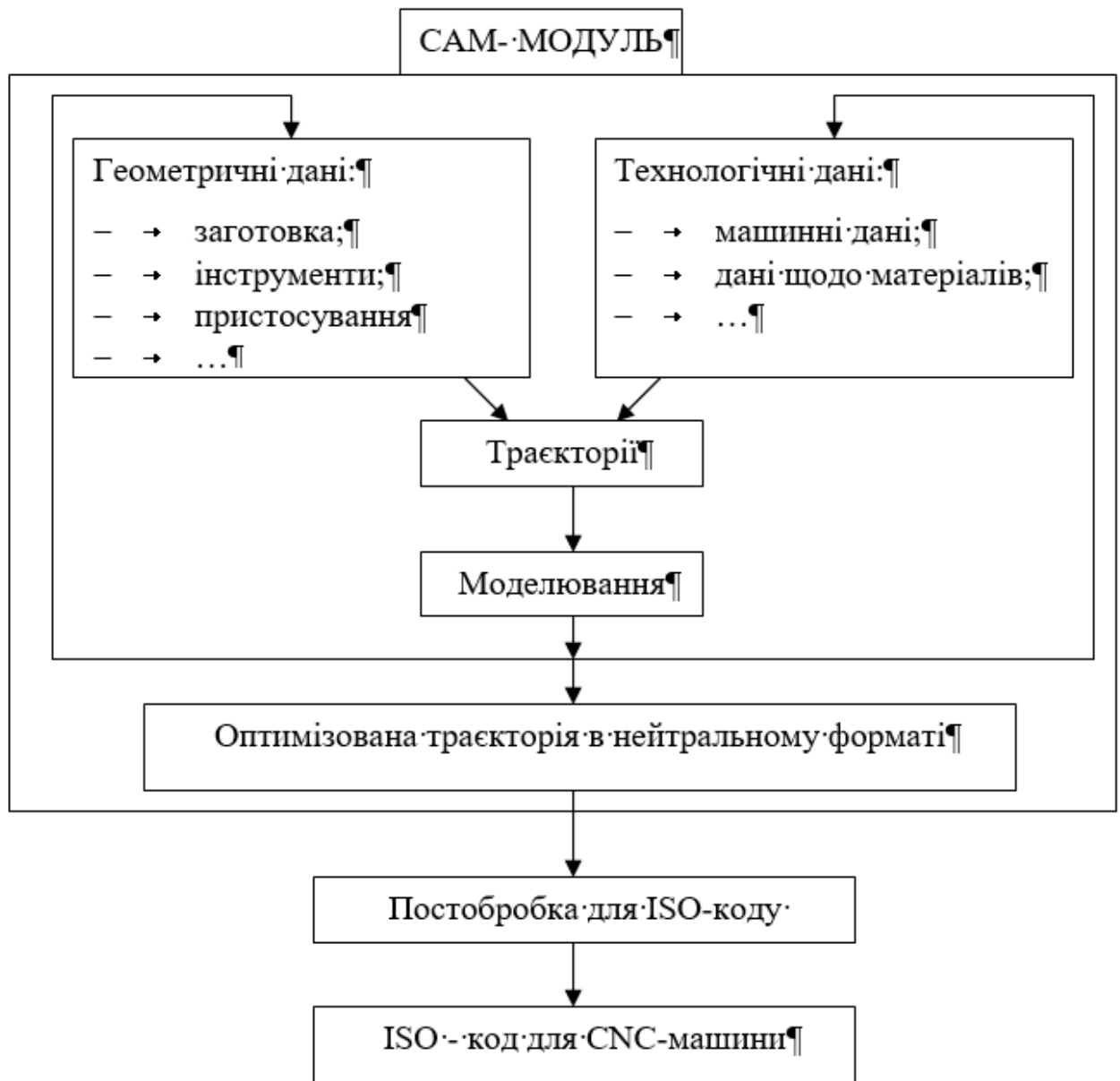


Рисунок 1.3 – Потік даних у САМ-модулі

Визначення послідовностей ЧПУ. Послідовність – це певний шлях переміщення інструменту з заданими геометричними та технологічними параметрами. Ці дані включають описи типу інструменту, поверхонь і швидкості, на якій інструмент повинен переміщуватися по траєкторії руху інструменту.

Створення файлу розташування різального інструменту (Cutter Location, CL). Файл CL – це результат обчислення позиції інструменту, де

враховані геометрія, параметри обробки та інші технологічні дані. CL-файли можуть бути промодельовані та відредаговані, щоб оптимізувати обробку.

Постобробка. Передбачає перетворення CL-файлу до протоколу ISO, використовуваному в певному верстаті (Machine Code Data, MCD). У кожного пристрою (контролера) є свій власний постпроцесор.

Обробка. Після завантаження MCD-файлу до контролера пристрою, можна починати обробку деталі, згідно заданими раніше параметрами.

1.3 Огляд існуючих САМ-систем

На даний момент існує багато систем, які дозволяють спростити роботу технолога та оператора верстата з ЧПУ. Відрізняються дані системи можливостями налаштування та завдання параметрів, кількістю контрольованих параметрів, можливістю інтегруватися в інші системи проєктування та управління.

ADEM CAM є частиною інтегрованої CAD/CAM системи та включає ряд підсистем, що сумісно функціонують в єдиному технологічному просторі. Загальні принципи побудови [6]:

- глибока взаємодія з модулем ADEM CAD;
- підготовка керуючих програм (КП) з використанням будь-яких видів геометричних даних, плоских ескізів, креслеників, поверхонь, твердих тіл і їх комбінацій;
- повна асоціативність геометричної та технологічної моделей, автоматичне відстеження в КП змін, внесених конструктором;
- динамічне моделювання процесу обробки з можливістю завдання складної заготовки (штампування, лиття) і порівняння результату обробки з математичною моделлю;
- генерація постпроцесорів для всіх типів верстатів з ЧПУ за допомогою модуля Adem GPP;

- бібліотека готових постпроцесорів (більше 200 найменувань) для більшості верстатів з ЧПУ, можливість доопрацювання та коригування постпроцесорів;
- підтримка процесу фрезерування за різною кількістю координат;
- розрахунок траєкторії руху інструменту за різними схемами: еквідистанта, зворотна еквідистанта, еквідистантна петля, еквідистантний зигзаг, спіраль, петля, зигзаг, петля UV, зигзаг UV, петля контурна, зигзаг контурний, олівцева;
- контроль залишкового припуску окремо для зовнішніх і внутрішніх границь конструктивного елемента;
- автоматичний підбір необроблених зон;
- автоматичний розрахунок точки врізання (за нормаллю, лінійне з нахилом, радіусне з нахилом);
- формування підходу і відходу по нормалі (лінійного або радіусного);
- використання верстатних циклів, робота з викликом підпрограм;
- формування декількох варіантів маршруту обробки в рамках одного проєкту;
- використання інструменту всіх типів: фрези кінцеві, конічні, кутові, дискові, з округленням або сферичні;
- створення бібліотеки інструментів;
- формування переходів: центрувати, свердлити, розгорнути, зенкерувати, розточити, нарізати різьбу;
- завдання токарних переходів з моделюванням обсягів припуску, що видаляється, для кожного переходу;
- токарна обробка за схемами: чорнова, попередня, зміщена, прорізка, контурна, чорнова прорізка;
- формування переходів точити, розточити, відрізати, підрізати, нарізати різьбу;

– створення власної бібліотеки токарних різців з точним моделюванням ріжучої кромки і завданням настроювальної точки [6].

CAM-система Autodesk® PowerMill® є експертним рішенням для програмування складних видів трохосової, високошвидкісної та багатоосової обробки на верстатах з ЧПУ.

Це одна з найдосконаліших у світі САМ-систем, яка надає високоефективні стратегії обробки, що дозволяють значно скоротити час обробки на верстаті та підвищити якість оброблюваних поверхонь [7] - [8].

Основні технічні особливості PowerMill наступні:

- висока швидкість генерації КП для великих і складних виробів;
- підтримуються твердотільні, поверхневі та сітчасті САД-моделі;
- генерація траєкторій без зіткнень і врізів;
- висока ефективність стратегій для чорнової обробки;
- всеохоплюючий набір стратегій для чистової обробки;
- наявність користувальницьких макросів і шаблонів для автоматизації типових процедур;
- велика бібліотека інструментів;
- гнучкі можливості редагування та оптимізації КП;
- автоматичне запобігання зіткненням при генерації п'ятиосової КП;
- спеціалізовані стратегії та методи обробки для різних типів виробів [8].

Cimatron дозволяє виконувати проєктування та виготовлення інструментів, включаючи прес-форми, штампи та електроди, а також програмування будь-якого верстата з ЧПУ або електроерозійного верстата для форм, штамків, пластин і дискретного виробництва. Незважаючи на те, що Cimatron найбільш ефективний при використанні в якості повністю інтегрованої системи, він також надає автономні рішення для більш швидкого розрахунку вартості, проєктування інструментів, створення електродів і програмування ЧПУ [9].

Основні можливості системи:

- управління даними та структурою проєкту, змінами, забезпечення паралельної розробки;
- проєктування деталей і складань в єдиному гібридному параметричному середовищі;
- створення креслярсько-графічних документів відповідно до вимог діючих стандартів;
- інтеграція з іншими системами на основі прямих (Cimatron IT, CATIA 4/5, UG, Pro / E, SolidWorks, AutoDesk / DWG) і стандартних (DXF, IGES, STEP, VDA, SAT, Parasolid, STL, VRML) інтерфейсів;
- проєктування ливарного оснащення на основі стандартних або власних каталогів деталей і вузлів;
- проєктування штампів послідовної дії;
- швидке проєктування електродів і керуючої інформації для прошивної електроерозії, автоматична генерація повного комплексу виробничої документації (кресленики, карти налагодження та ін);
- автоматичне виявлення змін в моделях, імпортованих з інших CAD-систем, відстеження цих змін на всіх виконаних етапах робіт в моделях, документах, програмах ЧПУ;
- формування керуючих програм для звичайної та високошвидкісної обробки деталей виробів і оснащення на 2,5-5-координатних фрезерних, 2-4-координатних електроерозійних, токарних, токарно-фрезерних і верстатах теплового різання з ЧПУ;
- забезпечення рівномірного навантаження на інструмент, використання технологічних шаблонів, віртуальний контроль обробки, ведення бібліотек інструменту з режимами різання, мікрофрезерування [10].

CATIA/CADAM Solutions це повністю інтегрована CAD/CAM/CAE-система високого рівня, що дозволяє забезпечити паралельне проведення конструкторсько-виробничого циклу. CATIA є універсальною системою автоматизованого проєктування, випробування та виготовлення, широко

застосовується на великих машинобудівних підприємствах в усьому світі для автоматизованого проєктування, підготовки виробництва, реінжинірингу. CATIA/CADAMSolutions надає спеціалізовані застосунки для технологічної підготовки виробництва [11].

У NX CAM реалізовані переваги кожної ключової функції програмного пакету, включаючи додаткові можливості програмування, постобробки і імітаційного моделювання. У кожному модулі NX передбачений розширений, в порівнянні з типовими пакетами програм для підготовки УП, набір функцій. наприклад, інтегрований модуль імітаційного моделювання роботи верстата враховує не тільки траєкторію руху інструменту, але і вихідні дані постпроцесора NX. Таким чином, NX забезпечує більш високий рівень перевірки програми безпосередньо всередині САМ-системи. NX надає повний набір засобів для програмування верстатів з ЧПУ в єдиній САМ-системі, а також інтегрований пакет програмних застосунків для виробництва деталей. Дані програми дозволяють моделювати деталі, вибирати геометрію інструменту та створювати контрольні програми на основі визнаних технологій NX [12].

NX - це нове слово в ефективності виготовлення деталей завдяки двом новим програмам, які реалізують завдання спеціального програмування: системі фрезерування NX Turbomachinery Milling для програмування виготовлення імPELLер і крильчаток, а також системі програмування ЧПУ NX, яка виконується автоматично на основі даних PMI (інформації про виріб і виробництві) [13].

Основні можливості NX CAM полягають у наступному.

Розвинені засоби програмування. NX CAM надає широкий спектр функціональних можливостей, які сприяють вирішенню безлічі завдань в одній системі: від програмування верстатів з ЧПУ до багатокоординатної обробки.

Автоматизація програмування. Передова технологія на основі розпізнавання елементів відкриває додаткові можливості автоматизації

програмування. Використання технології на основі розпізнавання елементів дозволяє скоротити час створення програм для обробки на верстатах з ЧПУ до 90% [12].

Постобробка та імітаційне моделювання. NX CAM містить повністю інтегровану систему постобробки. Багаторівневий процес перевірки програми для верстата з ЧПУ включає імітаційне моделювання на основі G-коду, що дозволяє виключити необхідність використання інших пакетів програм [12].

Зручність використання. Для максимальної ефективності можна працювати в графічному інтерфейсі системи. Наприклад, можливість вибору та переміщення 3D-моделі інструменту для налаштування траєкторії його руху є швидким інтуїтивним способом управління системою. У діалогових вікнах використовується графіка з чіткими поясненнями щодо введення значень, запитуваних меню [12].

Інтегроване рішення. У NX реалізовані розширені засоби автоматизованого проєктування, завдяки яким програміст верстатів з ЧПУ може вирішувати будь-які завдання: від моделювання нових деталей до створення креслеників налагодження за даними з 3D-моделі. Для вирішення завдань виробництва деталей в NX представлені спеціальні САМ-застосунки, наприклад модулі проєктування технологічного оснащення та створення контрольних програм. Різні застосунки узгоджено використовують 3D-модель без необхідності перетворення даних. Інтеграція NX з системою управління даними і процесами Teamcenter® є основою розширеного рішення для виробництва деталей. Це дозволяє повністю управляти всіма типами даних, починаючи від 3D-моделей і закінчуючи картами налагодження, переліком інструментів, а також файлами керуючих програм для верстатів з ЧПУ [12].

Рішення Creo для ЧПУ та механічної обробки забезпечують широкий діапазон можливостей моделювання прес-форм, матриць, траєкторій

інструменту й обробки на верстаті з ЧПУ, дозволяючи використовувати свої дані 3D CAD, в результаті економлячи час і скорочуючи кількість помилок.

Creo Complete Machining Extension надає інженерам-технологам повний набір можливостей і бібліотеки інструментів для створення ЧПУ-програм для верстатів будь-якого типу. Це дозволяє паралельно працювати над проєктом і об'єднувати всі зміни конструкції, значно підвищуючи якість продукції, зменшуючи кількість відходів металу та скорочуючи час і витрати на виробництво продукції [14].

Ключові особливості :

- включає в себе базові можливості механічної обробки (2,5-3х), пропонувані пакетом Creo Prismatic and Multi-surface Milling Extension;
- розширює повну асоціативність Creo Parametric з виробництвом;
- виключає помилки і незручності, які виникають при необхідності експорту геометрії Creo Parametric в інші програми механічної обробки;
- найкраща система програмування на світовому ринку для роботи з деталями, що мають безліч варіантів виконання;
- підтримка 3-5-координатного фрезерування, 2-4 координатної токарної обробки, 2-4 координатної дротяної електроерозійної обробки, а також багатовісьової фрезерно-токарної обробки; всі можливості Creo Prismatic та Multi-surface Milling Extension плюс підтримка багатокординатних фрезерних і токарних верстатів;
- дозволяє скоротити або навіть виключити перевірку програм для створення фізичних деталей шляхом моделювання процесу видалення матеріалу на верстатах з ЧПУ;
- надає унікальні засоби для документування процесу обробки, створення ескізів і конструкцій, необхідних для якісного виготовлення деталей;
- надає набір часто використовуваних технологічних інструментів і промислових стандартів;

- дає можливість інженерам ефективно використовувати в конструкції високоточні поверхні та поверхні вільної форми;
- об'єднує можливості Creo NC-GPOST – закінченого рішення для генерації NC-постпроцесорів, яке дозволяє створювати і моделювати постпроцесори для будь-яких типів верстатів з ЧПУ [14].

Таким чином, типову модульну структуру САМ-системи можна представити як зображено на рис. 1.4.

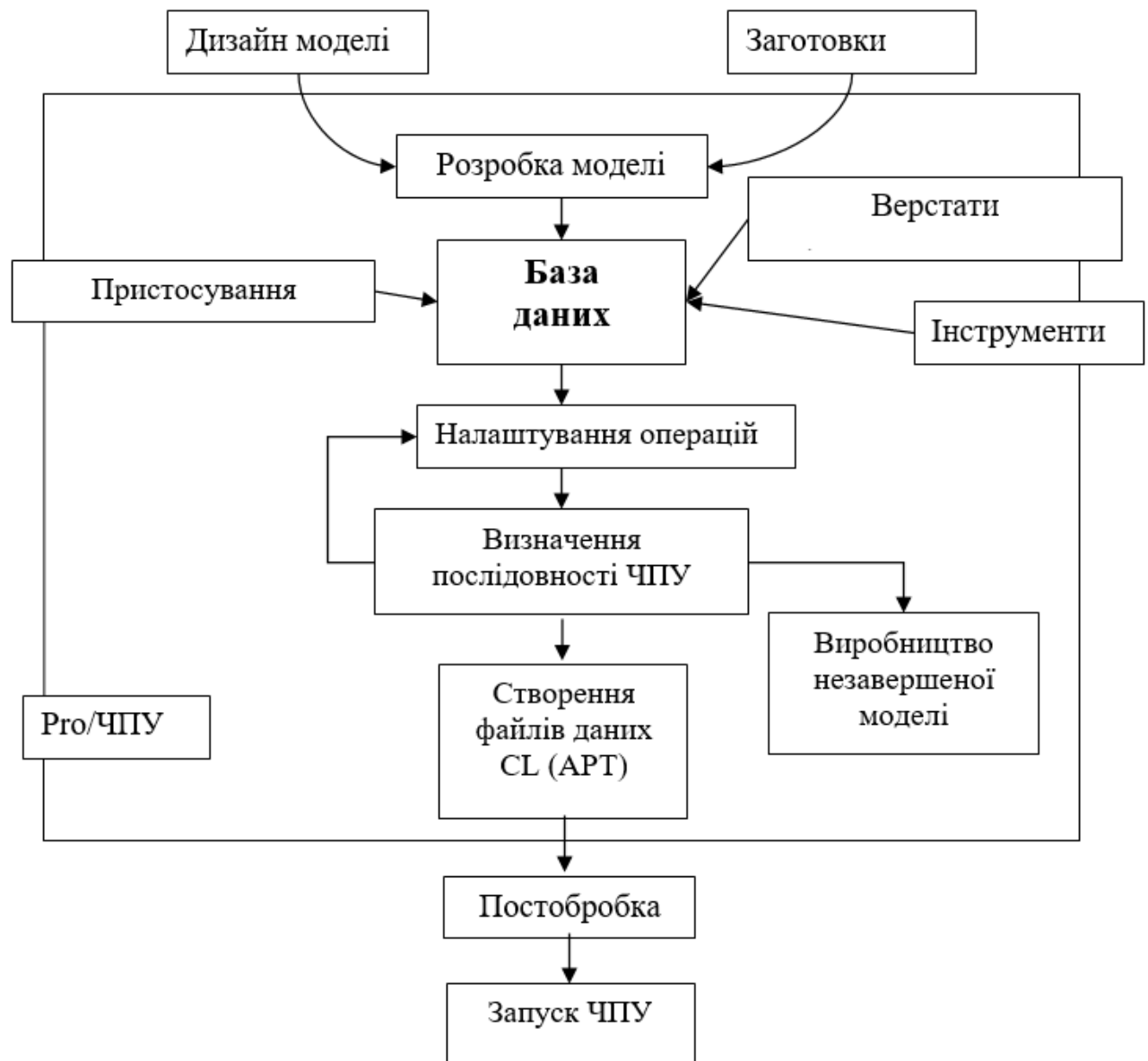


Рисунок 1.4 – Типова модульна структура САМ-системи

1.4 Постановка задач дипломної роботи

Як показали проведені дослідження, технологічна підготовка виробництва та зокрема механічної обробки є складним етапом, що потребує використання сучасних засобів автоматизованого проєктування та програмування. Існуючі САМ-системи дозволяють знизити трудомісткість виконання цього етапу та підвищити якість отримуваних програм механічної обробки. Тим не менш, є багато відкритих питань, що стосуються налаштування САМ-системи з урахуванням особливостей об'єкту обробки, використовуваного на підприємстві обладнання та інтеграції з CAD-системою. У випадку, коли технологу надається 3D-модель проєктованої деталі, ефективність застосування САМ-системи є високою. Але у випадку відсутності такої моделі, потрібні додаткові перетворення вхідних даних щодо геометрії деталі та формування технологічних переходів. Тому, тема дипломної роботи є актуальною.

Мета дипломної роботи – розробка програмного забезпечення формування конструктивно-технологічних елементів для автоматизації технологічної підготовки механічної обробки.

Задачі дипломної роботи:

- дослідити технології програмування для верстатів з ЧПУ;
- обрати середовище та мову програмування для складання програми обробки деталі на верстаті з ЧПУ;
- обрати інструментарій розробки та створити програму формування конструктивно-технологічних елементів (КТЕ) на основі списку елементарних оброблюваних поверхонь;
- розробити алгоритм автоматизованої технологічної підготовки виробництва на основі інтеграції розробленої програми та САМ-системи;
- розробити програмну документацію.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

2.1 Аналіз способів розробки програм для верстатів з ЧПУ

Способи створення програм для верстатів з ЧПУ наведено на рис. 2.1 [15].

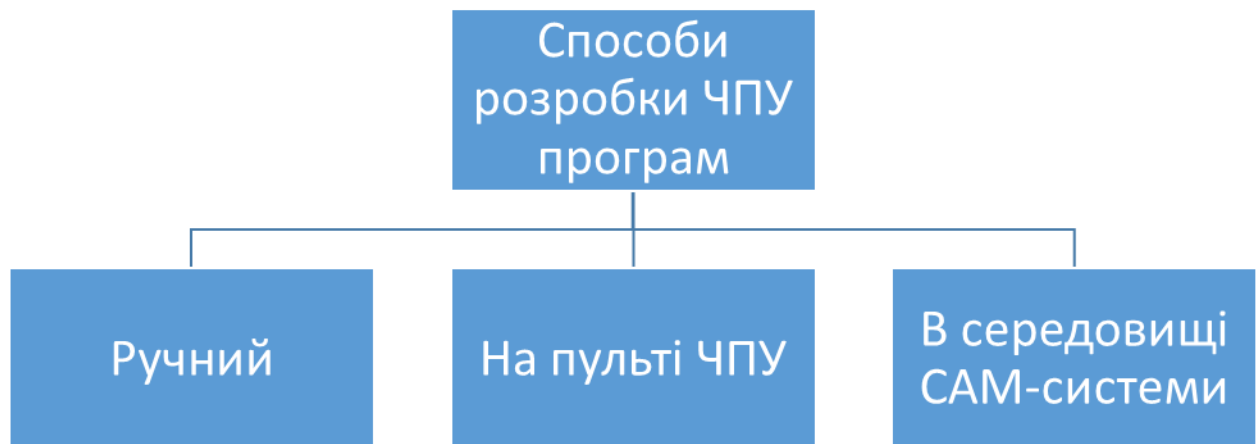


Рисунок 2.1 – Способи створення програм для верстатів з ЧПУ

Ручне програмування передбачає, що керуючу програму створюють в будь-якому текстовому редакторі, не користуючись інструментальними засобами та спеціалізованими середовищами програмування [15]. Зазвичай цей підхід використовують для створення програми обробки нескладних деталей, або за відсутності іншого інструментарію розробки [16].

Програмування на пульті ЧПУ має на увазі, що керуючу програму вводять прямо з терміналу ЧПУ за допомогою клавіатури та дисплея. В даному випадку програміст отримує більше можливостей для створення й налагодження програми, наприклад він може виконати її верифікацію або вибрати необхідний постійний цикл за допомогою спеціальних піктограм і вставити його в код програми [15].

САМ-система здійснює в автоматичному режимі розрахунок траєкторії переміщення різального інструменту та застосовується при

складанні програм для верстатів з ЧПУ на разі обробки деталей складних форм при необхідності використання безлічі різних операцій і режимів обробки [16]. САМ-система надає велику кількість спеціальних програмних засобів, що підтримують трудомісткі та рутинні операції й розрахунки. Тим самим значно підвищується продуктивність праці програміста та надійність створюваної програми [15].

2.2 Огляд систем та мов програмування

Мови програмування для верстатів з ЧПУ відрізняються за:

- ступенем спеціалізації (універсальні та спеціальні для окремих видів верстатів або типів деталей);
- ступенем автоматизації технологічних рішень (такі, що не автоматизують технологію, або такі, що частково і повністю автоматизують) [16].

Результати порівняльного аналізу систем програмування для верстатів з ЧПУ наведено в таблиці 2.1 [17].

Наприклад, система ТАУ-Т призначена для програмування переходів і окремих переміщень інструменту при виготовленні деталей типу тіл обертання на верстатах з ЧПУ токарної групи. Препроцесори цієї системи розробляються для автоматизації проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталей окремих груп і класів. У ТАУ-Т використовується розвинений банк технологічної інформації, що готується за допомогою докладних анкет параметрів верстатів з ЧПУ, інструментів і оброблюваних матеріалів. У базовій модифікації ТАУ-Т вихідна інформація записується на універсальній вхідній мові в загальному бланку [18].

ЕХАРТ – це орієнтована на виробництво мова програмування для створення програм ЧПУ з керуючою інформацією для обробних інструментів, яка дозволяє розглядати виробничі питання різних процесів обробки.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз систем програмування для верстатів з ЧПУ

Характеристика	Система програмування																
	APT	MINIAPT	BASIC EXAPT	EXAPT-2	EXAPT-2.1	COMPACT	MITURN	PAM	PROMO	ELAN-25	MELTS	AUTOPROG	GTL 13	САПП-ГМ	ТАУ-Г	ТАУ-ТТ	ТАУ-СРФ
Тип програмованої обробки																	
Універсальна	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
Токарна	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-
Свердлильно-фрезерна																	-
Мова програмування																	
Типу APT	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Цифрова	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+
Кодова	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Розбивка припуску на основі																	
Геометричних даних	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Призначення режимів	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Технологічних даних	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Вибір інструмента	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Формування послідовності переходів	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Режим використання																	
Пакетний	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Діалоговий	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-
Графічний контроль	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-

EXAPT – це також модульна система програмування для всіх операцій обробки з ЧПУ: свердління, токарна обробка, фрезерування, токарно-фрезерна обробка, висічка, різання, ерозія дроту, операції з промисловими роботами [19].

APT (Automatically Programmed Tool) – це високорівнева мова комп'ютерного програмування, яка найчастіше використовується для створення програм для верстатів з ЧПУ. APT – це система, що полегшує процес формування траєкторій інструментів для обладнання з ЧПУ. APT перетворює вихідні твердження в програми для керування верстатами з ЧПУ. Результатом роботи процесора APT може бути файл розташування різача (CL-файл), який потім запускається через постпроцесор, специфічний для кожного верстата з ЧПУ. Потім отриманий файл запускається керуванням машини, щоб генерувати рухи інструменту та інші дії машини. Найчастіше цей файл має певну форму інструкцій у форматі RS-274, широко відомих як G-код [20]. APT має ряд переваг:

- підтримка обробки за 5-осями, що дозволяє безперервно орієнтувати шлях інструменту в будь-якому місці тривимірного простору та під будь-яким кутом в межах обмежень конкретного верстата; різальний інструмент може бути визначений за допомогою до 7 змінних, що розширює можливі форми інструменту;
- мовні конструкції високого рівня (цикли, умови, визначення змінних та математичні вирази, тощо);
- відкритий стандарт ANSI NCITS 37-1999 (однак більшість компіляторів Apt є власністю компаній);
- поширене використання – більшість сучасних систем виводять проміжне подання шляху до інструменту у вигляді CL-файлу (Cutter Location), в синтаксисі APT.

Стандарт RS-274 (Gerber формат) передбачає використання односимвольних функціональних кодів, таких як G-коди, D-коди, M-коди та інші. Для програмування сучасного обладнання з ЧПУ активно

використовується код ISO 7 біт, основними одиницями якого є G- та M-команди. G-код отримав свою назву через те, що багато рядків в ньому починаються з літери G. Хоча G-код є універсальним стандартом, багато компаній-виробників верстатів з ЧПУ, вносять в нього свої особливості, що може перешкоджати сумісності G-кодів і обладнання. Зазвичай G-код пишеться для верстата з відомими характеристиками [21]. Функції з префіксом G називаються підготовчими та визначають режим і умови роботи верстата й системи ЧПУ. Стандартні підготовчі функції лежать в діапазоні G00-G99.

Функції з префіксом M називаються допоміжними та призначені для управління різними пристроями верстата, наприклад шпинделем, охолодженням і т.д. [22] - [23].

2.3 Висновки до розділу 2

В результаті проведених досліджень було виявлено що САМ-система надає велику кількість спеціальних програмних засобів, що підтримують трудомісткі та рутинні операції й розрахунки. Тим самим значно підвищується продуктивність праці програміста та надійність створюваної програми.

Серед існуючих САМ-систем можна виділити систему Creo Complete Machining Extension, яка надає інженерам-технологам повний набір можливостей і бібліотеки інструментів для створення ЧПУ-програм для верстатів будь-якого типу.

Для створення інструкцій для верстатів з ЧПУ в середовищах сучасних САМ-систем найчастіше використовується високорівнева мова програмування АРТ.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

3.1 Призначення та функціональні можливості програми

Програма призначена для аналізу конструкторських даних щодо оброблюваних поверхонь деталі та їх об'єднання в КТЕ.

Програмний продукт має виконувати такі функції:

- зчитувати інформацію з текстового файлу, що містить список елементарних поверхонь для обробки деталі;
- виділяти отвори (оброблювані поверхні) відповідно до координат елементарних поверхонь;
- групувати набори елементарних поверхонь в залежності від типу отвору (об'єднувати їх в КТЕ);
- виводити параметри елементарних поверхонь та результати групування на екран.

3.2 Аналіз вхідних даних

Вхідні дані містяться у текстовому файлі, що формується на основі аналізу 2D кресленика (рис. 3.1), та містить список елементарних поверхонь оброблюваної деталі.

Структура текстового файлу має такий вигляд:

```
#id #feature #d1 #d2 #l #tolerance #raz #x #y #z,
```

де #id – унікальний номер поверхні (#id1, #id2, ...);

#feature – тип поверхні (площина, циліндрична, конічна) (#plt ; #cyl;#con);

$\sqrt{Ra\ 3.2\ (\checkmark)}$

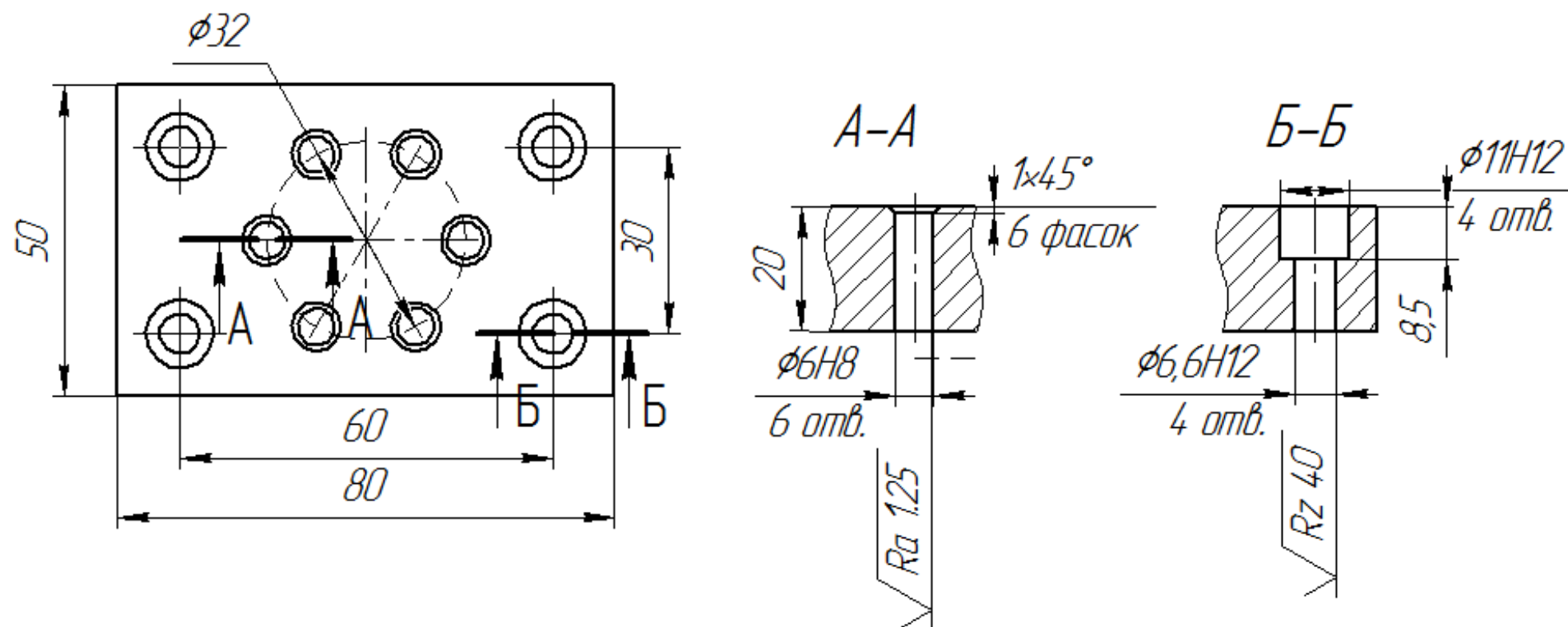


Рисунок 3.1 – Приклад 2D кресленика деталі

#d1 – менший (головний) діаметр (#6; #8 ...);
 #d2 – більший (необов'язковий) діаметр (#8; #11 ...);
 #l – розмір поверхні уздовж осі (#0; #8.5; #20...);
 #tolerance – параметр точності (#H7; #H11 ...);
 #raz – параметр шорсткості (#rz20; #ra0.16 ...);
 #x, #y, #z – координати базової точки елементарної поверхні в системі координат деталі. Координата #z вказується найбільшою з можливих.

Вихідний список поверхонь деталі (зміст файлу feature_list.txt) виглядає наступним чином.

```
#1 #cyl #6.6 #6.6 #11.5 #H10 #Ra1.25 #10 #10 #11.5
#2 #plt #6.6 #11 #0 #N/A #Ra3.2 #10 #10 #11.5
#3 #cyl #11 #11 #8.5 #H10 #Ra2.5 #10 #10 #20
#4 #cyl #6.6 #6.6 #11.5 #H10 #Ra1.25 #10 #40 #11.5
#5 #plt #6.6 #11 #0 #N/A #Ra3.2 #10 #40 #11.5
#6 #cyl #11 #11 #8.5 #H10 #Ra2.5 #10 #40 #20
#7 #cyl #6.6 #6.6 #11.5 #H10 #Ra1.25 #70 #40 #11.5
#8 #plt #6.6 #11 #0 #N/A #Ra3.2 #70 #40 #11.5
#9 #cyl #11 #11 #8.5 #H10 #Ra2.5 #70 #40 #20
#10 #cyl #6.6 #6.6 #11.5 #H10 #Ra1.25 #70 #10 #11.5
#11 #plt #6.6 #11 #0 #N/A #Ra3.2 #70 #10 #11.5
#12 #cyl #11 #11 #8.5 #H10 #Ra2.5 #70 #10 #20
#13 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #24 #25 #19
#14 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #24 #25 #20
#15 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #32 #38 #19
#16 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #32 #38 #20
#17 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #32 #11 #19
#18 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #32 #11 #20
#19 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #48 #38 #19
#20 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #48 #38 #20
#21 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #48 #11 #19
```

```
#22 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #48 #11 #20
#23 #cyl #6 #6 #19 #H7 #Ra0.32 #56 #25 #19
#24 #con #6 #8 #1 #N/A #Ra3.2 #56 #25 #20
```

3.3 Вибір мови та середовища програмування

На основі аналізу мов програмування, що вивчалися, для розробки програми було обрано мову програмування C++. Переваги C++ над C:

- можливість писати узагальнений код за допомогою шаблонів;
- можливість використовувати об'єктно-орієнтований підхід;
- спрощення коду за рахунок перевантаження функцій і операторів;
- більш проста обробка помилок за рахунок винятків.

В якості середовищ розробки розглядалися Microsoft Visual Studio, Borland C++ Builder, Qt Creator [24].

Visual C++ зазвичай використовується при розробці програм, призначених для роботи з ОС Windows, які використовують основні властивості ОС, а так само виконують велику кількість обчислень. Одним з недоліків даного засобу розробки застосунків є висока вимога до апаратних ресурсів при розробці програмного забезпечення, недостатньо висока швидкість компіляції програмного коду і при реалізації кінцевого продукту.

Borland C++ Builder за своїми недоліками аналогічний Visual C++, але має ще один – розробка баз даних на базі мови SQL і їх підтримка обмежена.

Qt Creator – це повністю інтегроване середовище розробки (Integrated Development Environment, IDE), яке надає інструменти проєктування і розробки складних застосунків для безлічі настільних і мобільних платформ.

Qt є кросплатформним (не залежним від платформи та операційної системи) фреймворком для розробки застосунків на мові C++. За допомогою Qt були розроблені такі відомі програми, як: Opera, Google Earth і Skype.

Qt може бути використаний в некомерційних цілях для створення застосунків з відкритим вихідним кодом, а також як ліцензія для комерційних клієнтів. За рахунок використання власного фреймворка і потужного інструментарію Qt дозволяє швидко і зручно створювати власні кросплатформні застосунки. Крім того, команди розробників отримують можливість працювати на різних платформах, використовуючи при цьому загальні інструменти для розробки і налагодження. Тому, в якості інструменту розробки обрано середовище Qt Creator 5.1.1 та фреймворк Microsoft .NET Framework 4.5 [25].

3.4 Структура та реалізація програми

Структуру програми представлено на рис. 3.2.



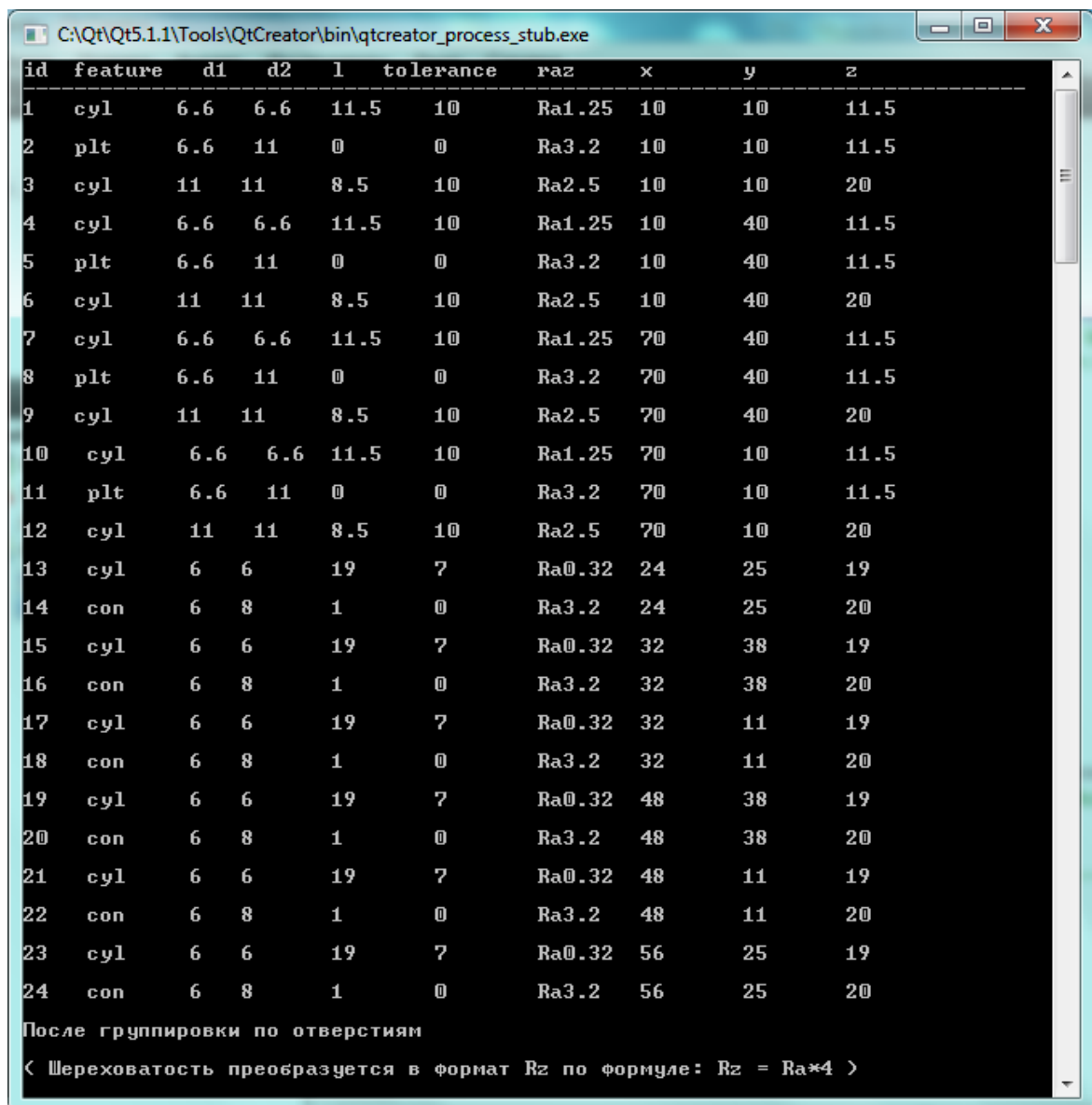
Рисунок 3.2 – Структура програми «Технолог»

Модуль аналізу вхідних даних виконує зчитування вхідних даних щодо набору поверхонь з текстового файлу та забезпечує наступні функції:

- введення коефіцієнту перетворення показника шорсткості поверхні R_a в R_z ;

- структурування даних щодо оброблюваних поверхонь (унікальний номер, тип поверхні (площина, циліндрична, конічна), координати x, y, z базової точки);
- структурування даних щодо параметрів шорсткості та точності обробки;
- структурування даних щодо параметрів отворів (діаметри отвору, глибина свердління);

Результат роботи Модулю аналізу вхідних даних наведено на рис. 3.3.



id	feature	d1	d2	l	tolerance	raz	x	y	z
1	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	10	11.5
2	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	10	11.5
3	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	10	10	20
4	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	40	11.5
5	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	40	11.5
6	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	10	40	20
7	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	40	11.5
8	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	40	11.5
9	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	70	40	20
10	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	10	11.5
11	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	10	11.5
12	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	70	10	20
13	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	24	25	19
14	con	6	8	1	0	Ra3.2	24	25	20
15	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	32	38	19
16	con	6	8	1	0	Ra3.2	32	38	20
17	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	32	11	19
18	con	6	8	1	0	Ra3.2	32	11	20
19	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	48	38	19
20	con	6	8	1	0	Ra3.2	48	38	20
21	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	48	11	19
22	con	6	8	1	0	Ra3.2	48	11	20
23	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	56	25	19
24	con	6	8	1	0	Ra3.2	56	25	20

После группировки по отверстиям

< Шероховатость преобразуется в формат Rz по формуле: $Rz = Ra \cdot 4$ >

Рисунок 3.3 – Результат роботи Модулю аналізу вхідних даних

Модуль перетворення даних виконує наступне:

- створює вектор отворів;
- виділяє отвори (оброблювані поверхні) відповідно до координат елементарних поверхонь;
- створює групи наборів елементарних поверхонь в залежності від типу отвору;
- створення/видалення нового отвору.

Модуль виведення результатів забезпечує:

- виведення параметрів елементарних поверхонь на екран;
- збереження отриманих КТЕ в DXF (Drawing eXchange Format) файл [26].

Результати роботи Модулю перетворення даних та Модулю виведення результатів на екран наведено на рис. 3.4.

Скритинуваний текст з екрану:

```

< Шероховатість преобразується в формат Rz по формуле: Rz = Ra*4 >
Номер отверстия: 1
X: 10  Y: 10
-----
# пов.  Тип поверхности  Диаметр  Размер поверхн.  Допуск  Шероховатость  Z
-----
1      cyl              6.6      11.5             10      5              11.5
2      plt              11       0                0      12.8            11.5
3      cyl              11       8.5             10      10             20
Номер отверстия: 2
X: 10  Y: 40
-----
# пов.  Тип поверхности  Диаметр  Размер поверхн.  Допуск  Шероховатость  Z
-----
4      cyl              6.6      11.5             10      5              11.5
5      plt              11       0                0      12.8            11.5
6      cyl              11       8.5             10      10             20
Номер отверстия: 3
X: 70  Y: 40
-----
# пов.  Тип поверхности  Диаметр  Размер поверхн.  Допуск  Шероховатость  Z
-----
7      cyl              6.6      11.5             10      5              11.5
8      plt              11       0                0      12.8            11.5
9      cyl              11       8.5             10      10             20
Номер отверстия: 4
X: 70  Y: 10
-----
# пов.  Тип поверхности  Диаметр  Размер поверхн.  Допуск  Шероховатость  Z
-----
10     cyl              6.6      11.5             10      5              11.5

```

Рисунок 3.4 – Результати виводу КТЕ на екран

В результаті роботи програми, на основі аналізу текстового файлу, який містить список оброблюваних поверхонь деталі, а також відомості про них (номер та тип поверхні (площина, циліндрична, конічна), координати її базової точки, параметри майбутніх отворів, вимоги до якості обробки (точність, шорсткість)), формується список КТЕ, в якому надається номер отвору, координати його центру, дані щодо задіяних елементарних поверхонь, а саме тип та шорсткість поверхні, а також дані щодо параметрів отворів та допусків на них. Файлова структура проєкту наведена на рис. 3.5.

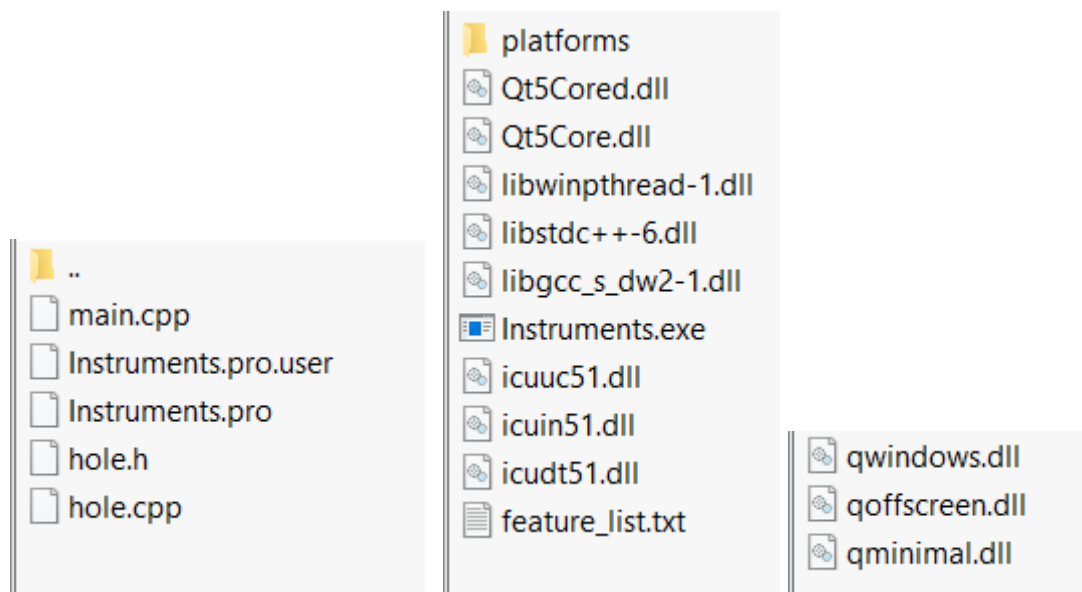


Рисунок 3.5 – Файлова структура проєкту

На основі отриманої на етапі технологічної підготовки інформації формується файл з розширенням DXF, що може бути переданий в САМ-систему.

3.5 Алгоритм та програма автоматизованої механічної обробки

У Додатку Б наведено узагальнений алгоритм автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки, який базується на спільному застосуванні розробленої програми «Технолог» та системи Creo Complete Machining Extension.

Блок 1. Початок роботи. Аналіз технічного завдання.

Блок 2. Проектування деталі. Передбачає розробку 2D ескізу у системі Creo Parametric.

Блок 3. Формування списку елементарних поверхонь. Включає всі типи поверхонь деталі, що буде оброблятися.

Блок 4. Формування КТЕ. Здійснюється на основі програми «Технолог».

Блок 5. Налаштування параметрів обробки (рис.3.6). Вказуються параметри згідно документації на деталь, які перевіряються в Блоці 6. У випадку помилки виконується переналаштування параметрів обробки.

Блок 7. Вибір ЧПУ послідовності. Передбачає задання послідовності операцій обробки (рис.3.7).

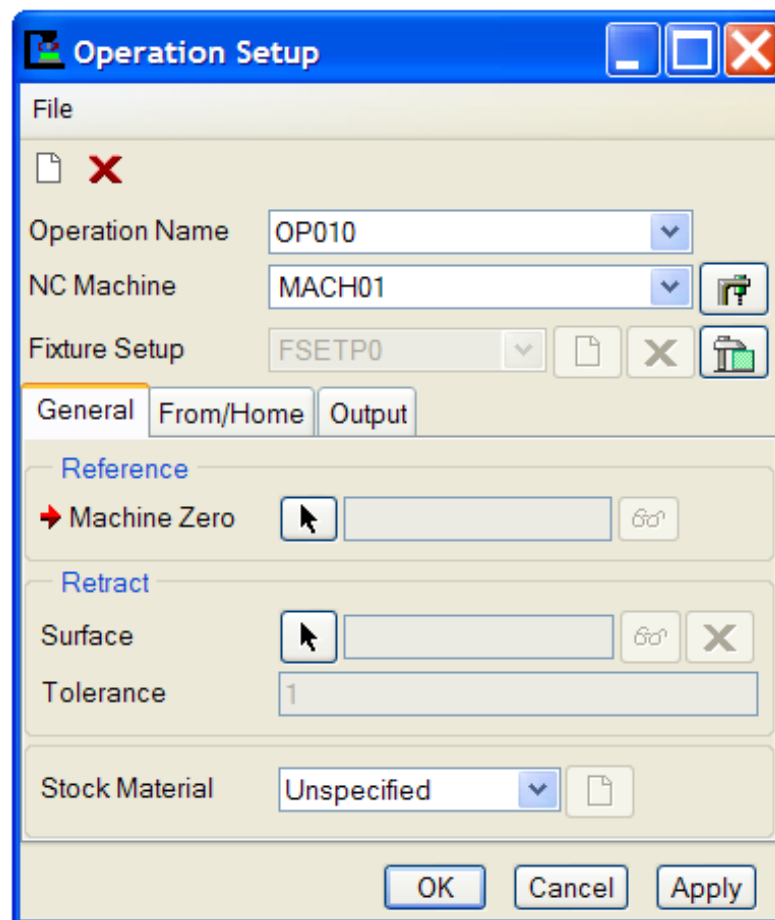


Рисунок 3.6 – Налаштування параметрів обробки

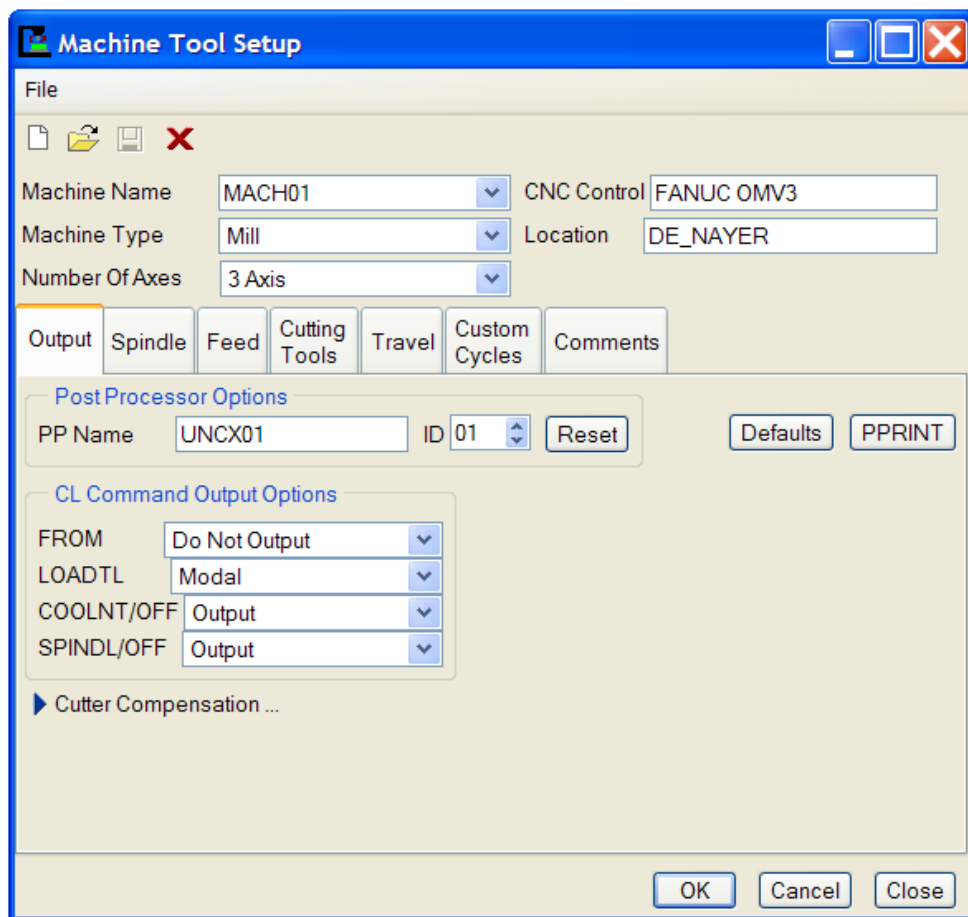


Рисунок 3. 7 – Задання послідовності операцій обробки

Блок 8. Вибір інструменту різання. Передбачає вибір інструменту з БД САМ-системи (рис. 3.8).

Блок 9. Введення технологічних параметрів. Задаються такі параметри як швидкість обертання, швидкість підведення та відведення різального інструменту, тощо.

Блок 10. Вибір КТЕ. Передбачає вибір елементів для подальшої обробки та подальшу перевірку правильності вибору в Блоці 11. У випадку помилки, виконується перевизначення ЧПУ послідовності у Блоці 12.

Блок 13. Анімація обробки успішна? Передбачає перевірку розрахованої траєкторії руху різального інструменту засобами імітаційного моделювання (рис.3.9).

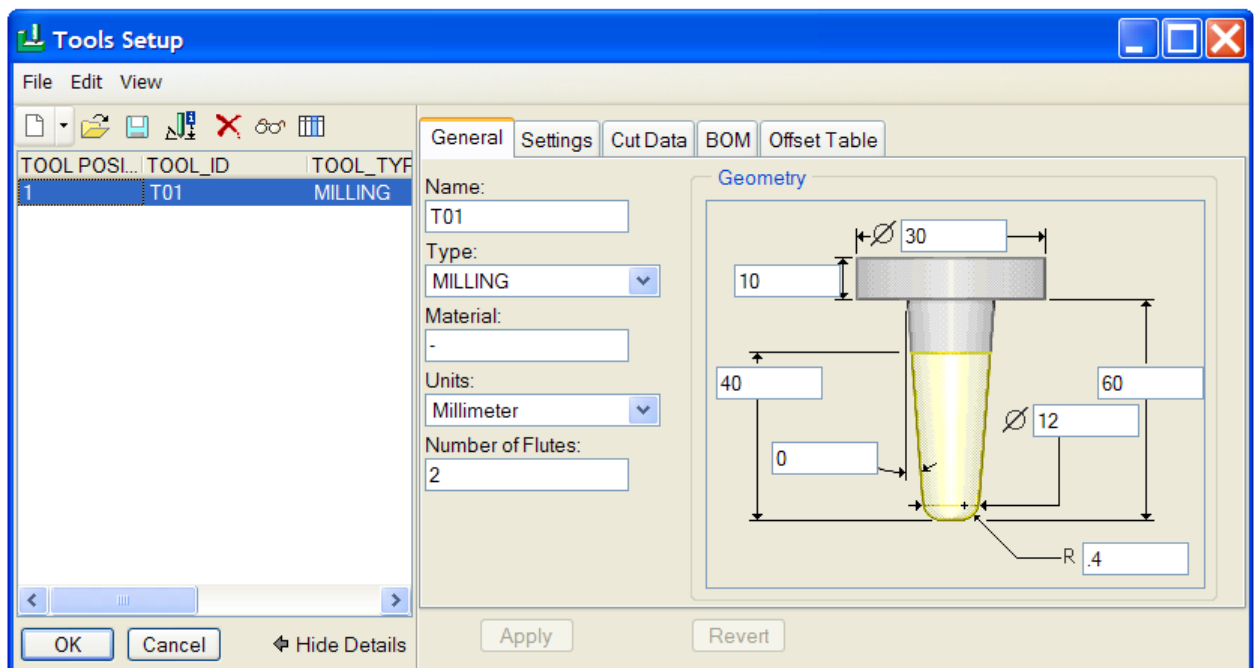


Рисунок 3.8 – Вибір різального інструменту з БД САМ-системи

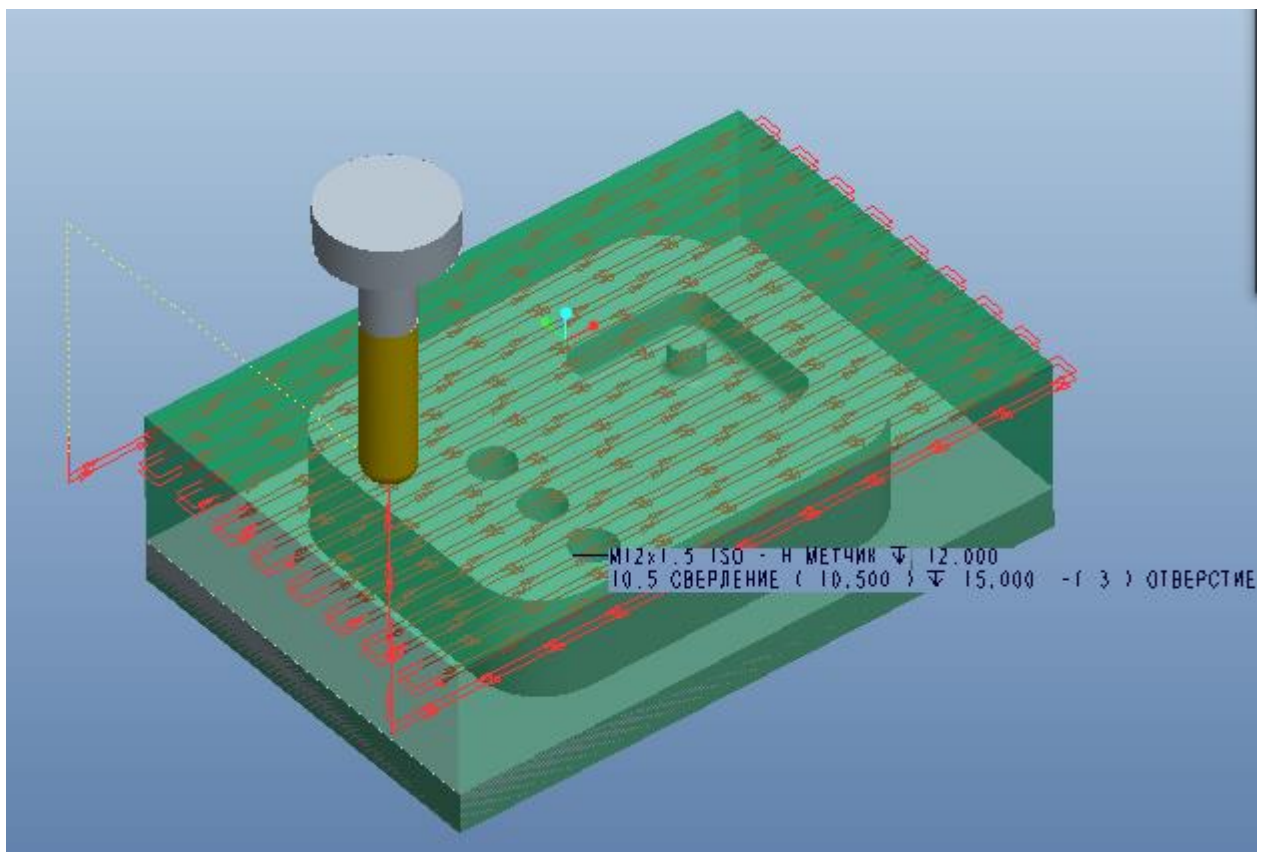


Рисунок 3.9 – Анімація обробки

Якщо результати незадовільні, у Блоках 14, 15 виконується перевірка параметрів та введення нових даних для процесу свердління (рис. 3.10, 3.11, 3.12). У випадку успішної анімації формується CL-файл.



Рисунок 3.10 – Корегування параметрів операції свердління

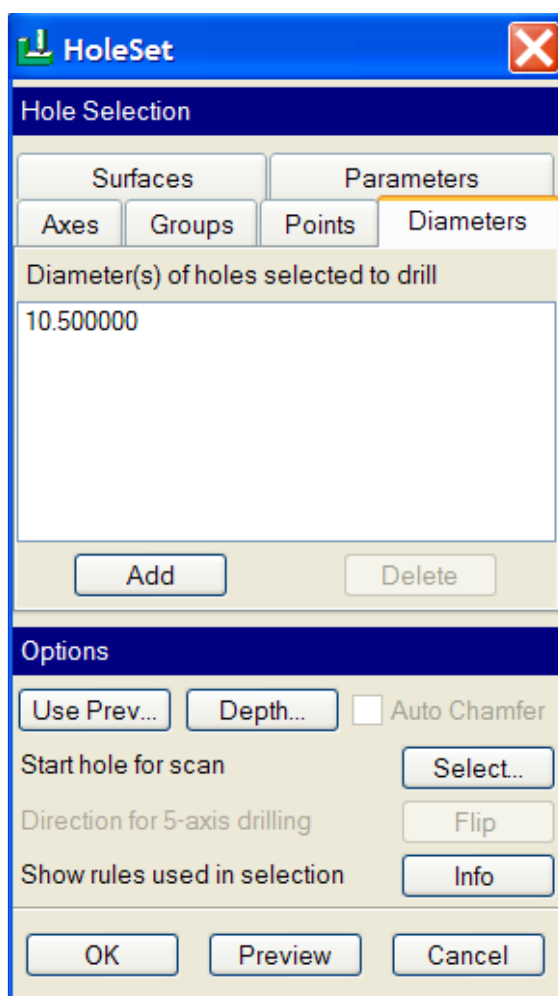


Рисунок 3.11 – Корегування наборів отворів

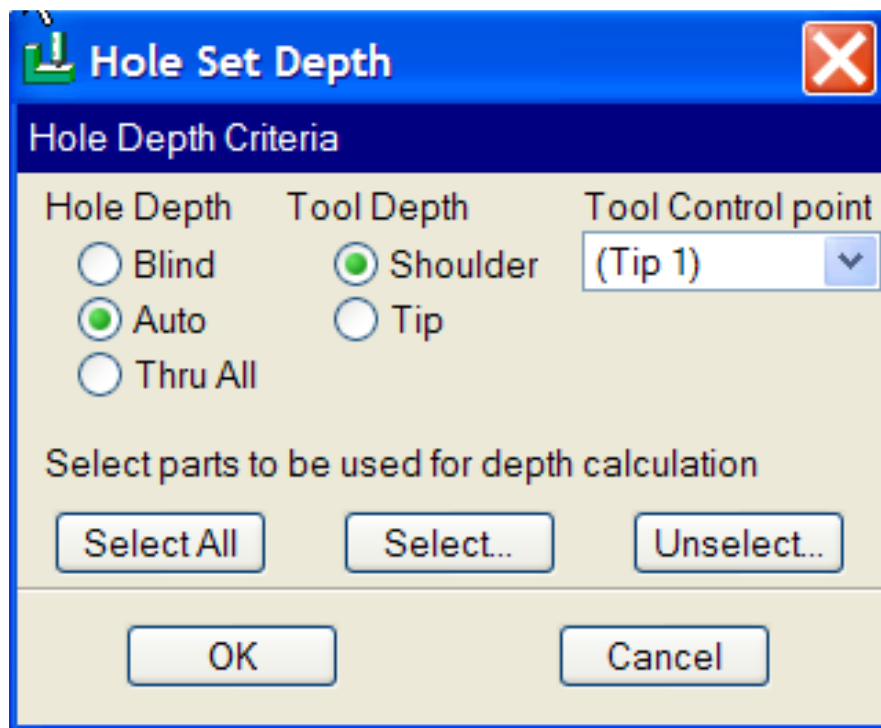


Рисунок 3.12 – Корегування параметрів отворів

Блок 16. Вибір постпроцесору. Для переведення даних про координати різального інструменту в набір машинних кодів, зрозумілих конкретному верстату, обирається тип постпроцесору з БД САМ-системи.

Блок 17. Побудова MCD-файлу. Передбачає постобробку в команди управління верстатом.

Блок 18. Аналіз звіту про помилки та перевірка наявності помилок в Блоці 19. Якщо помилки не виявлено, то перехід до Блоку 21.

Блок 20. Перевірка параметрів обробки або ручне коригування програми.

Блок 21. Збереження керуючих файлів.

Результат розробки керуючої програми може бути завантажений на верстат з ЧПУ для виготовлення деталі. Фрагменти CL-файлу на мові АРТ та MCD-файлу після постобробки наведено нижче.

CL-файл (розширення файлу .NCL.1).

\$\$* Pro/CLfile Version 2021 - 2001320

```

$$-> MFGNO / POMPHUIS
PARTNO / POMPHUIS-STOCK
$$-> FEATNO / 41
MACHIN / UNCX01, 1
$$-> CUTCOM_GEOMETRY_TYPE / OUTPUT_ON_CENTER
UNITS / MM
LOADTL / 1, OSETNO, 1
$$-> CUTTER / 20.000000
$$-> CSYS/1.0000000000,0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 0.0000000000
SPINDL / RPM, 2345.000000, CLW
RAPID
GOTO / 14.5000000000, -0.0000000000, 50.0000000000
RAPID
GOTO / 14.5000000000, -0.0000000000, 10.0000000000
FEDRAT / 234.000000, MPPM
GOTO / 14.5000000000, -0.0000000000, -5.0000000000
CIRCLE / 0.0000000000, 0.0000000000, -5.0000000000, $
0.0000000000, 0.0000000000, 1.0000000000, 14.5000000000
GOTO / 14.5000000000, -0.0000000000, -5.0000000000
GOTO / 14.5000000000, -0.0000000000, 50.0000000000
SPINDL / OFF
$$-> END /
FINI

```

MCD-файл (розширення файлу. TAP)

%*

O231*

N0010G00G28G55G40G91X0.Y0.Z0.M19*

N0015G99*

N0020 T1 M06*

N0025 G00 X0. Y0. Z30.*

N0030 S2345 M03*

N0035 G00 G43 Z50. H01*

N0040 X14.5 Y0.*

N0045 Z10.*

N0050 G01 Z-5. F234.*

N0055 G03 X14.5 Y0. I-14.5 J0.*

N0060 G01 Z50.*

N0065 M09*

N0070G00G28G55G40G91X0.Y0.Z0.M19*

N0075M30*

%*

Програма має два види повідомлень. Перше – на етапі вибору поверхонь обробки. Поверхні обробки обираються для різних типів послідовностей. Якщо користувач спробує обрати поверхні невірно, програма повідомить його про то, що дані були введені некоректно. Друге повідомлення – на етапі вибору постпроцесору. Якщо у звіті виявлено помилки, тоді треба обрати інший постпроцесор або корегувати параметри обробки.

3.6 Висновки до розділу 3

В даному розділі, у відповідності до мети та задач дипломної роботи обрано інструментарій розробки та розроблено програму формування КТЕ на основі списку елементарних оброблюваних поверхонь. Розроблено алгоритм автоматизованої технологічної підготовки виробництва на основі інтеграції розробленої програми та САМ-системи.

4 КЕРІВНИЦТВО ПРОГРАМІСТА

4.1 Призначення програми

Програма «Технолог» призначена для аналізу конструкторських даних щодо оброблюваних поверхонь деталі та їх об'єднання в конструктивно-технологічні елементи.

Програма виконує наступні функції:

- зчитувати інформацію з текстового файлу, що містить список елементарних поверхонь для обробки деталі;
- виділяти отвори (оброблювані поверхні) відповідно до координат елементарних поверхонь;
- групувати набори елементарних поверхонь в залежності від типу отвору (об'єднувати їх в КТЕ);
- виводити параметри елементарних поверхонь та результати групування на екран.

4.2 Умови виконання програми

Для роботи програмного продукту необхідно мати таку мінімальну апаратну платформу: персональний комп'ютер сумісний з IBM PC, процесор Intel Pentium 1ГГц або вище, оперативна пам'ять з мінімальним об'ємом 1Гб, вільне місце на диску 4,5 Гб.

Програма вимагає встановленої платформи Microsoft .NET Framework 4.5, Qt Creator. Необхідні програмні продукти можна завантажити за посиланням: <http://qt-project.org/>.

4.3 Характеристика програмної системи

Програма розроблена в середовищі Qt Creator 5.1.1 на мові C ++.

4.4 Звернення до програми

Звернення до програми здійснюється запуском файлу «Instruments.exe». Після запуску має з'явитися головне вікно програми.

4.5 Вхідні та вихідні дані

Вхідні дані містяться у текстовому файлі, що надає список елементарних поверхонь оброблюваної деталі.

Структура текстового файлу має такий вигляд:

```
#id #feature #d1 #d2 #l #tolerance #raz #x #y #z,
```

де #id – унікальний номер поверхні (#id1, #id2, ...);

#feature – тип поверхні (площина, циліндрична, конічна) (#plt; #cyl; #con);

#d1 – менший (головний) діаметр (#6; #8 ...);

#d2 – більший (необов'язковий) діаметр (#8; #11 ...);

#l – розмір поверхні уздовж осі (#0; #8.5; #20...);

#tolerance – параметр точності (#H7; #H11 ...);

#raz – параметр шорсткості (#rz20; #ra0.16 ...);

#x, #y, #z – координати базової точки елементарної поверхні в системі координат деталі. Координата #z вказується найбільшою з можливих.

Вихідні дані містяться у файлі опису КТЕ (див. рис. 4.1).

Номер отверстия: 4
X: 70 Y: 10

№ пов.	Тип поверхности	Диаметр	Размер поверхн.	Допуск	Шероховатость	Z
10	cyl	6.6	11.5	10	5	11.5
11	plt	11	0	0	12.8	11.5
12	cyl	11	8.5	10	10	20

Номер отверстия: 5
X: 24 Y: 25

№ пов.	Тип поверхности	Диаметр	Размер поверхн.	Допуск	Шероховатость	Z
13	cyl	6	19	7	1.28	19
14	con	8	1	0	12.8	20

Номер отверстия: 6
X: 32 Y: 38

№ пов.	Тип поверхности	Диаметр	Размер поверхн.	Допуск	Шероховатость	Z
15	cyl	6	19	7	1.28	19
16	con	8	1	0	12.8	20

Номер отверстия: 7
X: 32 Y: 11

№ пов.	Тип поверхности	Диаметр	Размер поверхн.	Допуск	Шероховатость	Z
17	cyl	6	19	7	1.28	19
18	con	8	1	0	12.8	20

Номер отверстия: 8
X: 48 Y: 38

Рисунок 4.1 –Результати формування списку КТЕ

4.6 Повідомлення

Програма має два види повідомлень. Перше – на етапі вибору поверхонь обробки. Поверхні обробки обираються для різних типів послідовностей. Якщо користувач спробує обрати поверхні невірно, програма повідомить його про те, що дані були введені некоректно.

Друге повідомлення – на етапі вибору постпроцесору. Якщо у звіті виявлено помилки, тоді треба обрати інший постпроцесор або корегувати параметри обробки. Приклад звіту про помилки показано на рис. 4.2.

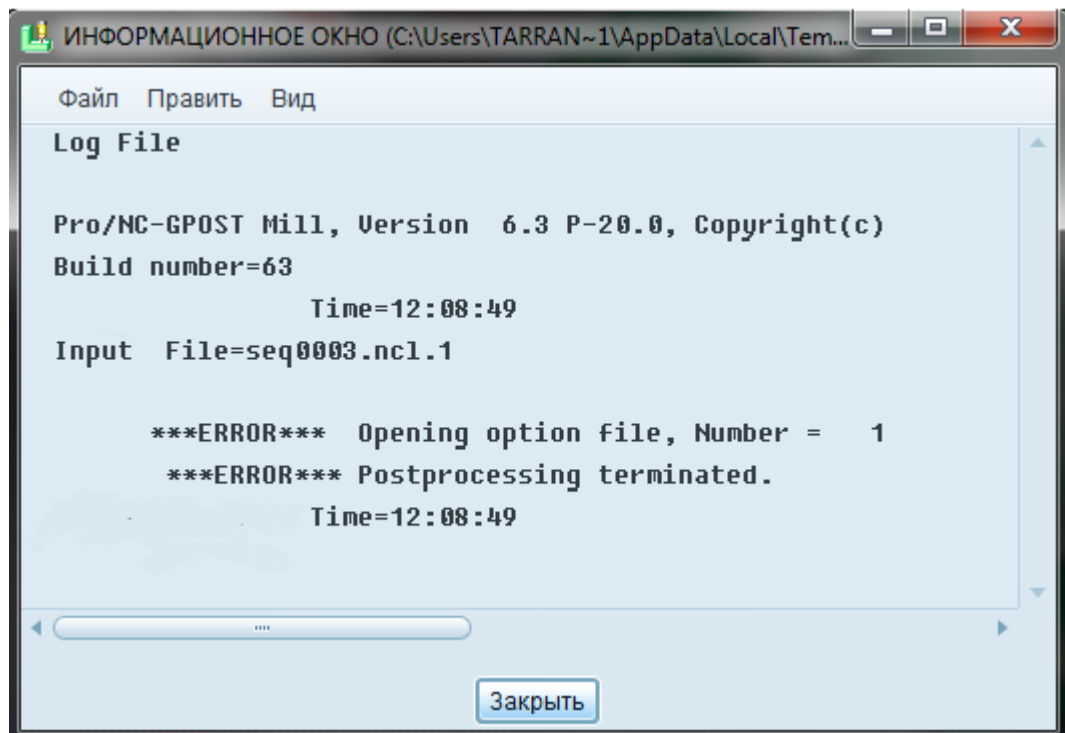


Рисунок 4.2 – Звіт про помилку вибору постпроцесору

5 КЕРІВНИЦТВО ОПЕРАТОРА

5.1 Призначення програми

Програма «Технолог» призначена для аналізу конструкторських даних щодо оброблюваних поверхонь деталі та їх об'єднання в конструктивно-технологічні елементи.

Програма виконує наступні функції:

- зчитувати інформацію з текстового файлу, що містить список елементарних поверхонь для обробки деталі;
- виділяти отвори (оброблювані поверхні) відповідно до координат елементарних поверхонь;
- групувати набори елементарних поверхонь в залежності від типу отвору (об'єднувати їх в КТЕ);
- виводити параметри елементарних поверхонь та результати групування на екран.

5.2 Умови виконання програми

Для роботи програмного продукту необхідно мати таку мінімальну апаратну платформу: персональний комп'ютер сумісний з IBM PC, процесор Intel Pentium 1 ГГц або вище, оперативна пам'ять з мінімальним об'ємом 1 Гб, вільне місце на диску 4,5 Гб.

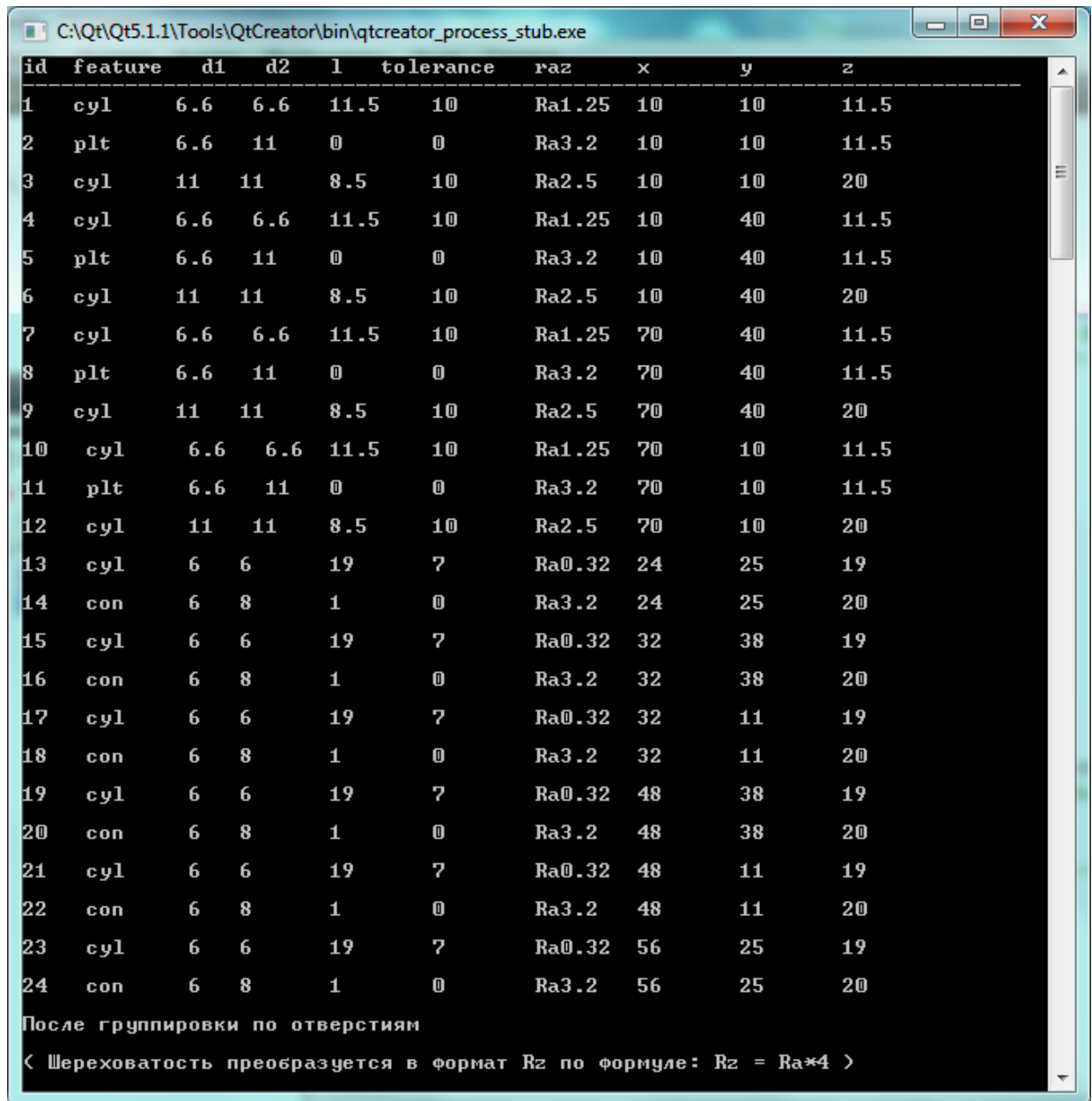
Програма вимагає встановленої платформи Microsoft .NET Framework 4.5, Qt Creator. Необхідні програмні продукти можна завантажити за посиланням: <http://qt-project.org/>.

5.3 Виконання програми

Звернення до програми здійснюється запуском файлу «Instruments.exe». Після запуску має з'явитися головне вікно програми, в

якому треба вказати шлях до текстового файлу, що містить список елементарних оброблюваних поверхонь.

Після завантаження цього файлу з'явиться результат його обробки (рис. 5.1).



id	feature	d1	d2	l	tolerance	raz	x	y	z
1	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	10	11.5
2	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	10	11.5
3	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	10	10	20
4	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	40	11.5
5	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	40	11.5
6	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	10	40	20
7	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	40	11.5
8	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	40	11.5
9	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	70	40	20
10	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	10	11.5
11	plt	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	10	11.5
12	cyl	11	11	8.5	10	Ra2.5	70	10	20
13	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	24	25	19
14	con	6	8	1	0	Ra3.2	24	25	20
15	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	32	38	19
16	con	6	8	1	0	Ra3.2	32	38	20
17	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	32	11	19
18	con	6	8	1	0	Ra3.2	32	11	20
19	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	48	38	19
20	con	6	8	1	0	Ra3.2	48	38	20
21	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	48	11	19
22	con	6	8	1	0	Ra3.2	48	11	20
23	cyl	6	6	19	7	Ra0.32	56	25	19
24	con	6	8	1	0	Ra3.2	56	25	20

После группировки по отверстиям

< Шероховатость преобразуется в формат Rz по формуле: $Rz = Ra \cdot 4$ >

Рисунок 5.1 – Результат обробки вхідного файлу

Далі програма виконає формування КТЕ та виведе інформацію щодо них на екран (рис. 5.2) та в файл з розширенням DXF (Drawing eXchange Format).

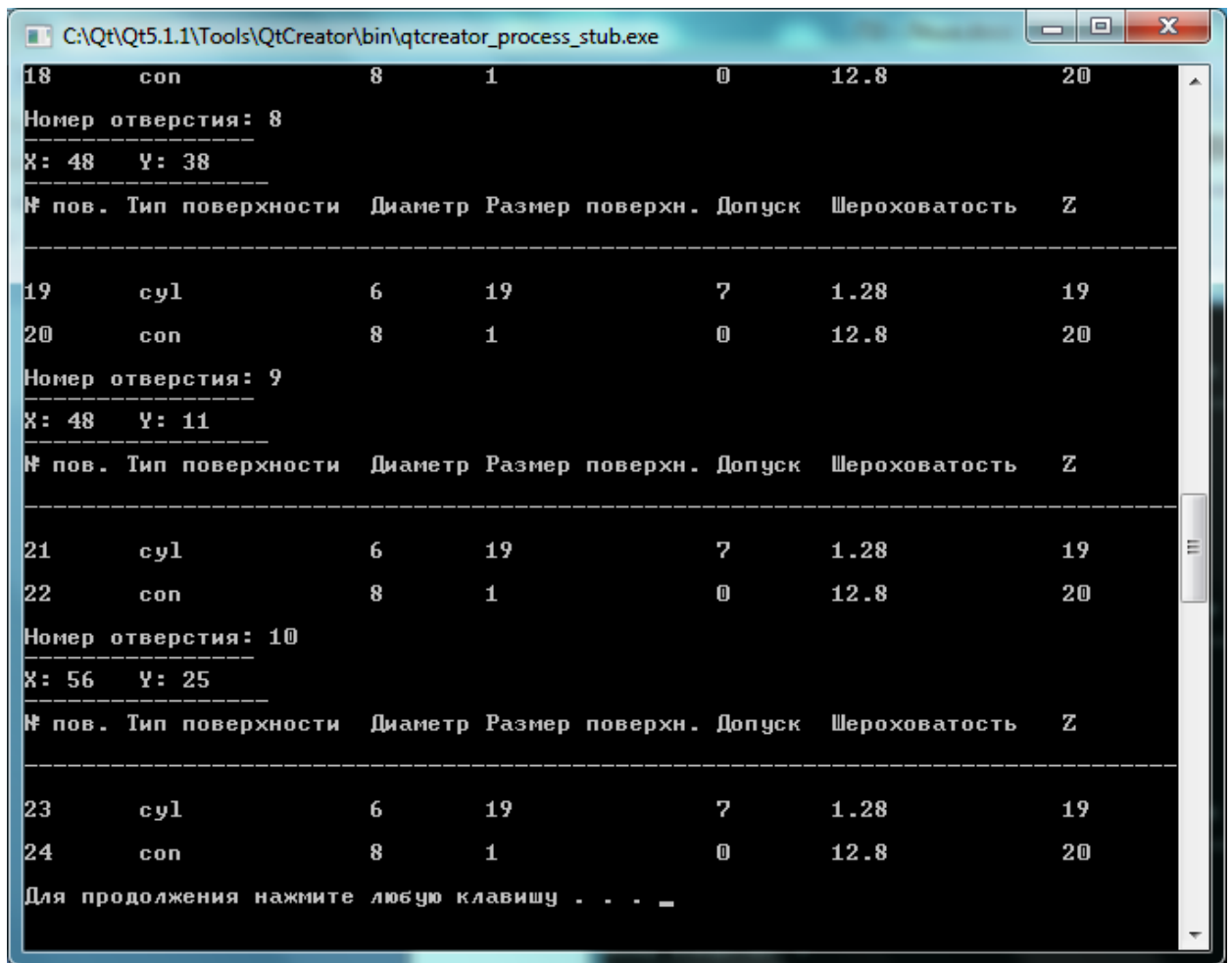


Рисунок 5.2 – Результати роботи програми

Після завантаження файлу з розширенням DXF в САМ-систему Creo Complete Machining Extension, а також введення вхідних даних щодо обробки, з'явиться головне вікно програми, в якому користувач може переглянути анімацію шляху, дані про положення інструмента та корегувати процес обробки як показано на рис. 5.3.

5.4 Повідомлення оператору

Програма має два види повідомлень. Перше – на етапі вибору поверхонь обробки. Поверхні обробки обираються для різних типів послідовностей. Якщо користувач спробує обрати поверхні невірно,

програма повідомить його про те, що дані були введені некоректно, як показано.

Друге повідомлення – на етапі вибору постпроцесору. Якщо у звіті буде виявлено помилки, тоді треба обрати інший постпроцесор або корегувати параметри обробки.

Крім того, система використовує підсвічування кольором певних рядків програми у вікні управління обробкою (рис. 5.3) в процесі імітаційного моделювання, що є корисним для подальшого корегування коду програми.

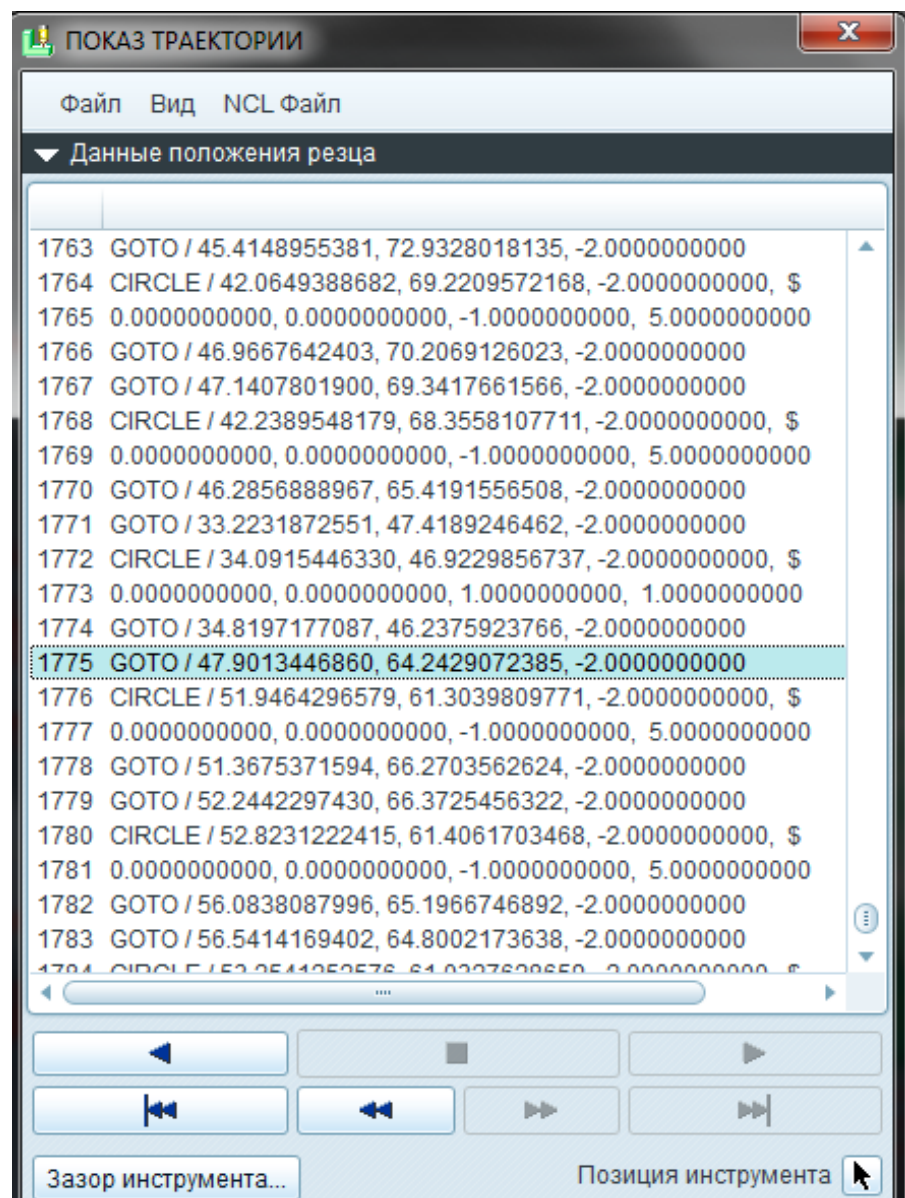


Рисунок 5.3 – Вікно управління обробкою

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі розглянуто задачі автоматизації технологічної підготовки виробництва.

Показано, що застосування сучасних САМ-систем дозволяє спростити процес технологічної підготовки виробництва. обробки. Зокрема, зручним та функціональним середовищем розробки керуючих програм для верстатів з ЧПУ є система Creo Complete Machining Extension.

Розроблена програма «Технолог» дозволяє на основі текстових файлів, що містять набір елементарних поверхонь, які підлягають механічній обробці, сформувати КТЕ для подальшого використання в якості вхідних даних для САМ-системи. В результаті інтеграції розробленої програми з САМ-системою Creo Complete Machining Extension, розроблено програму обробки деталі на верстаті з ЧПУ.

Розроблена програма працездатна, що підтвердило проведене імітаційне моделювання траєкторії руху різального інструменту.

Подальший розвиток цієї системи може бути спрямований на формування інших типів КТЕ на основі списків елементарних поверхонь, а тако розширення списку можливих типів поверхонь.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Понятие о станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и программировании [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://thelib.info/fizika/319410-ponyatie-o-stankah-s-chislovym-programmnyim-upravleniem-chpu-i-programmirovanii/>.
2. Числовое программное управление (ЧПУ) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%9F%D0%A3>.
3. Системы ЧПУ - Service-CNC [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/qvuj>.
4. ЧПУ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/458813>.
5. Программирование станков с ЧПУ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/cnc-machines-programming.html>.
6. Разработка технологии, моделирование и подготовка управляющих программ в adem cam [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://studizba.com/lectures/129-inzhenerija/1807-avtomatizacija-podgotovki-upravljajuschih-programm/35457-10-razrabotka-tehnologii-modelirovanie-i-podgotovka-upravljajuschih-programm-v-adem-cam.html>.
7. Autodesk PowerMill [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pointcad.ru/product/autodesk-powermill>.
8. PowerMill [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: Экспертное решение для программирования высокоскоростной и многоосевой обработки на станках с ЧПУ и роботах. <https://delcam.ru/product/powermill>.
9. Cimatron. Integrated CAD/CAM software for tooling [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cimatron.com/>.
10. Андрианов, А. Н. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства. Часть 8. Системы проектирования технологической оснастки: учебно-методическое

пособие. / А. Н. Андрианов; под ред. Д. Д. Куликова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 84 с.

11. Rapid Prototyping & Computer Aided Design [Электрон. ресурс]. – Режим доступа:

<https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KSO/Files/TomskCAD/CAD/CAD.htm>.

12. Высокая эффективность производства деталей NX CAM — комплексное решение для изготовления деталей высокого качества в короткие сроки [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru_ru/2-nx-cam-brochure_tcm66-64475.pdf.

13. NX [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.weta.ru/solutions-nx.php>.

14. Описание CAD/CAM-системы [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://planetacam.ru/choice/creo/>.

15. Программирование систем ЧПУ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/663160/informatika/programmirovanie_sistem.

16. Способы программирования станков с ЧПУ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.axispanel.ru/technology/cnc/programming.php>.

17. Языки программирования для станков с ЧПУ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/4/57.htm>.

18. Отечественные и зарубежные САП [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://proizvodim.com/otechestvennyye-i-zarubezhnye-sap.html>.

19. EXAPT [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://star-wiki.ru/wiki/EXAPT>.

20. APT (programming language) [Electronic resource]. – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/APT_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/APT_(programming_language)).

21. Программирование станков с ЧПУ: как написать программу [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://surl.li/qska>.

22. Складання керуючої програми для верстатів з числовим програмним управлінням [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://prog.bobrodobro.ru/97581>.

23. Токарний чпу верстат керуюча програма. Програмне забезпечення для верстатів ЧПУ. Набір програмного забезпечення для верстатів з ЧПУ [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://hddrecover.ru/total/tokarnyi-chpu-standok-upravlyayushchaya-programma-programmnoe-obespechenie/>.

24. Анализ и выбор программных средств разработки АСИС [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2036220/informatika/analiz_vybor_programmnyh_sredstv_razrabotki_asis.

25. The Qt project [Electronic resource]. – Access mode: <https://qt-project.org.herokuapp.com/>.

26. DXF [Electronic resource]. – Access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/DXF>.

ДОДАТОК А
Текст програми

A. 1 Зміст файлу hole.h

```

#include <iostream>
#include <QVector>
#include <QStringList>

using namespace std;

const int roughness_factor = 4;    //Коефіцієнт для перетворення Ra в
Rz (Rz = Ra*4)

class Hole
{
    float X,Y;                      //Координати отвору на площині заготовки
    QVector<int> id;                 //Унікальний номер елементарної
поверхні
    QVector<QString> surface;       //Назва елементарної поверхні
    QVector<float> Z;
    QVector<float> diam_requ;        //Потрібний діаметр
    QVector<float> diam_curr;        //Поточний діаметр
    QVector<float> depth;            //Глибина свердління
    QVector<int> tolerance_requ;     //Потрібна точність
    QVector<int> tolerance_curr;     //Поточна точність
    QVector<float> roughness_requ;   //Потрібна шорсткість
    QVector<float> roughness_curr;   //Поточна шорсткість

public:
    void initHole(QStringList arrL); //Створення нового отвору
    void showHole();                 //Вивід параметрів отвору на екран
    void clearHole();                //Видалення параметрів отвору
};

```

А.2 Зміст файлу hole.cpp

```
#include "hole.h"

void Hole::initHole(QStringList arrL)
{
    float New_val;
    QString R;

    diam_curr.push_back(0);          //
    tolerance_curr.push_back(0);     // Встановлення поточних значень
    параметрів в 0
    roughness_curr.push_back(0);     //

    X = arrL[7].toFloat();
    Y = arrL[8].toFloat();
    id.push_back(arrL[0].toInt());
    surface.push_back(arrL[1]);
    Z.push_back(arrL[9].toFloat());
    diam_requ.push_back(arrL[3].toFloat());
    depth.push_back(arrL[4].toFloat());
    tolerance_requ.push_back(arrL[5].toInt());

    R = arrL[6].mid(0,2);
    float Value = arrL[6].mid(2).toFloat();
    if(R == "Ra")                    // Перетворення шорсткості в Rz(якщо
    необхідно)
        New_val = Value*4;          //
    roughness_requ.push_back(New_val);
}
```

```

void Hole::showHole()
{
    QString s;
    wcout<<"X: "<<X<<"\t"<<"Y: "<<Y<<endl<<"-----"<<endl;
    wcout<<L"№ пов. "<<L"Тип поверхні\t"<<L"Діаметр\t"<<L"Розмір
поверхні\t"<<L"Допуск\t"<<L"Шорсткість\t"<<L"Z\t"<<endl;
    wcout<<"-----
----"<<endl;
    for(int i=0;i<id.size();i++)
    {

wcout<<id[i]<<"\t"<<surface[i].toStdWString()<<"\t\t"<<diam_requ[i]<<"\t"<<de
pth[i]<<"\t\t"<<tolerance_requ[i]
        <<"\t"<<roughness_requ[i]<<"\t\t"<<Z[i]<<endl<<endl;
    }
}

void Hole::clearHole()
{
    X = 0;
    Y = 0;
    id.clear();
    surface.clear();
    Z.clear();
    diam_curr.clear();
    diam_requ.clear();
    depth.clear();
    tolerance_curr.clear();
    tolerance_requ.clear();
}

```

```

    roughness_curr.clear();
    roughness_requ.clear();
}

```

A.3 Зміст файлу main.cpp

```

#include <QCoreApplication>
#include <iostream>
#include <locale.h>
#include <QFile>
#include "hole.h"

using namespace std;

void showPltSurface(QStringList pltList)    //Вивід параметрів
елементарної поверхні
{
    wcout<<pltList[0].toStdWString()<<" " <<pltList[1].toStdWString()<<"
    "<<pltList[2].toStdWString()<<" " <<pltList[3].toStdWString()

    <<"\t"<<pltList[4].toStdWString()<<"\t"<<pltList[5].toStdWString()<<"\t"

    <<pltList[6].toStdWString()<<"\t"<<pltList[7].toStdWString()<<"\t"<<pltList[8].t
    oStdWString()<<"\t"<<pltList[9].toStdWString()<<endl;
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    QCoreApplication a(argc, argv);
    setlocale(LC_ALL,"Rus");
    Hole tmp;

```

```

QStringList arrayList;
QVector<Hole> h;                                     //Створення вектору отворів

QString temp;
float X_curr,Y_curr;
float X_prev = -1;
float Y_prev = -1;
QFile file("feature_list.txt");
if (!file.open(QIODevice::ReadOnly | QIODevice::Text))
    qDebug("Error");
wcout<<"id " <<"feature " <<"d1 " <<"d2 " <<"l " <<"tolerance
" <<"raz\t" <<"x\t" <<"y\t" <<"z\t" <<endl;
wcout<<"-----
--" <<endl;
while(!file.atEnd())
{
    temp = file.readLine();
    temp.replace("N/A","0");
    temp.replace("#","");
    temp.replace("H","");

    arrayList = temp.split(" ", QString::SkipEmptyParts);
    showPltSurface(arrayList);                        // Вивід параметрів зчитаної
елементарної поверхні
    /*Групування елементарних поверхонь за отворами*/
    X_curr = arrayList[7].toFloat();
    Y_curr = arrayList[8].toFloat();
    if(X_curr == X_prev && Y_curr == Y_prev)
    {
        h.last().initHole(arrayList);
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        X_prev = X_curr;
        Y_prev = Y_curr;
        tmp.initHole(arrayList);
        h.append(tmp);
        tmp.clearHole();
    }
}

wcout<<endl<<L"Після групування за отворами "<<endl<<endl;
wcout<<L"( Шорсткість перетворюється в формат Rz за формулою:
Rz = Ra*4 ) "<<endl<<endl;
for(int i=0;i<h.size();i++)
{
    wcout<<L"Номер отвору: "<<i+1<<endl<<"-----"<<endl;
    h[i].showHole();
}
file.close();
system("pause");
return 0; }

```

ДОДАТОК Б

Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки



Рисунок Б.1 – Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки, аркуш 1

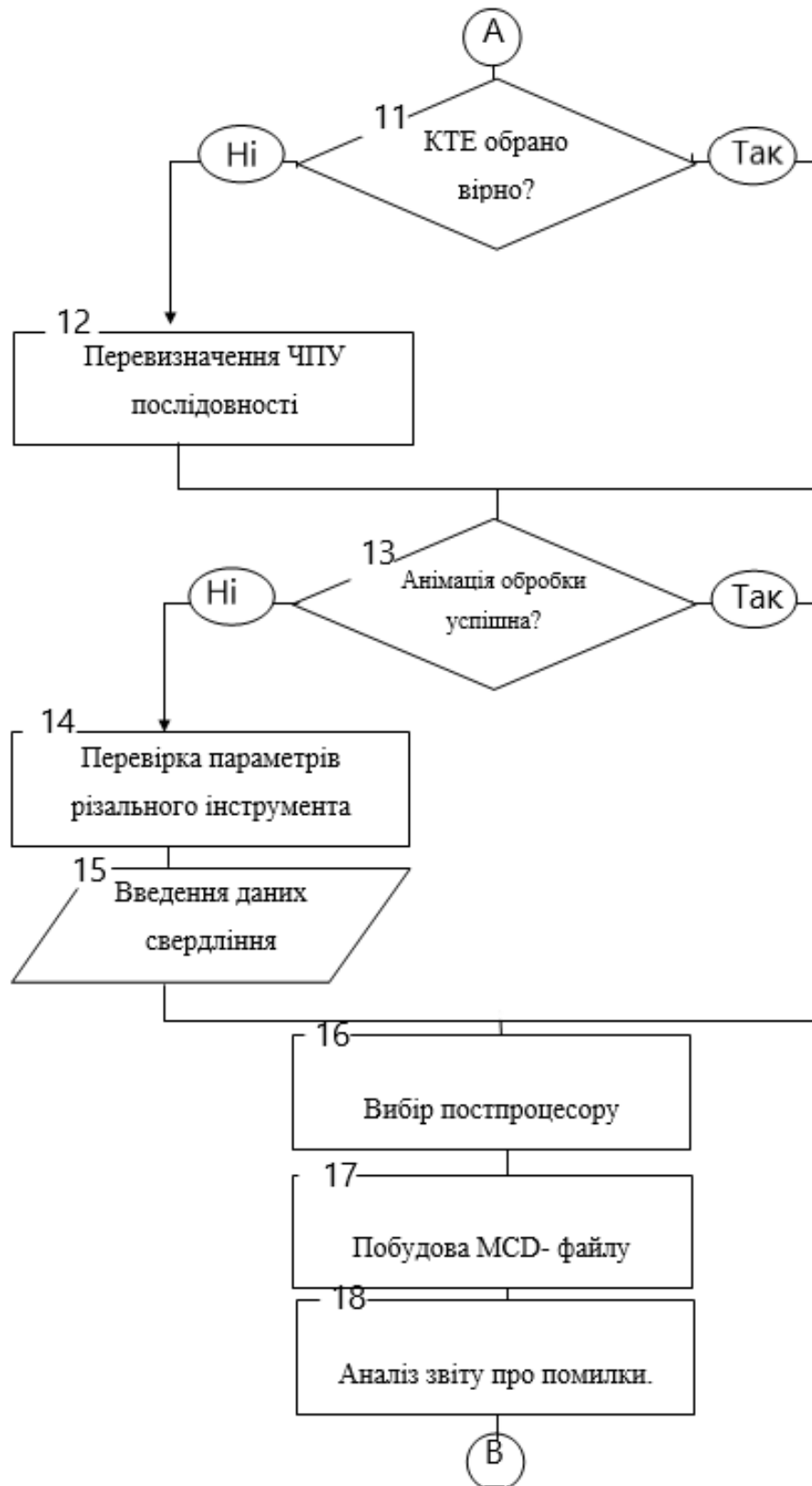


Рисунок Б.1 – Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки, аркуш 2

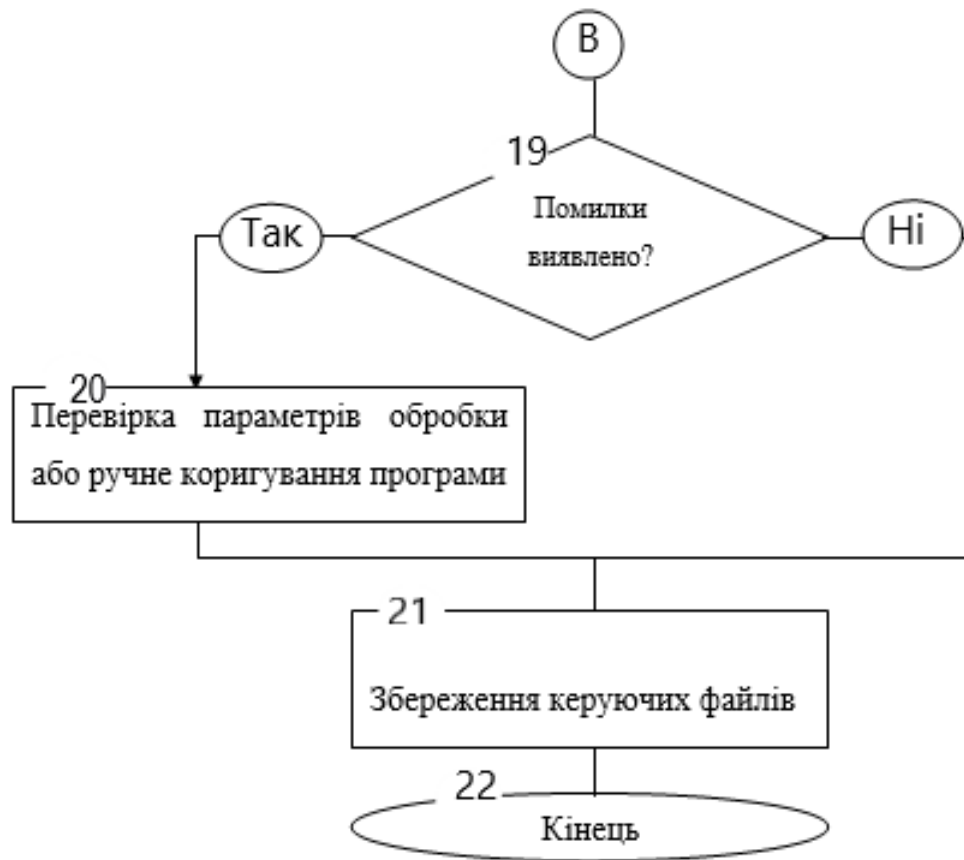


Рисунок Б.1 – Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки, аркуш 3

ДОДАТОК В
Слайди презентації

Дипломна робота на тему:

«Розробка програмного забезпечення для технологічної
підготовки механічної обробки»

Виконав
студент групи КНТ-217

А.М.Тимохов

Керівник
к. т. н., доцент

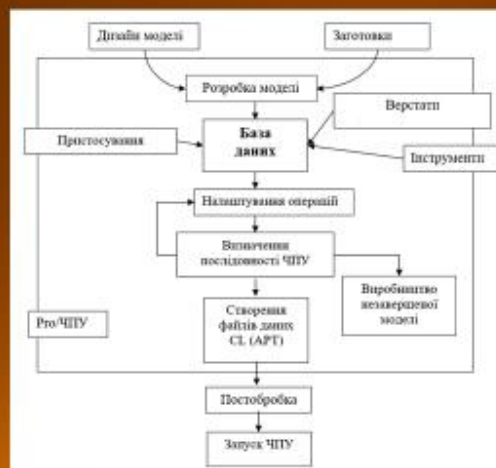
А. В. Пархоменко

Рисунок В.1 – Слайд 1

Актуальність роботи



Потік даних у САМ-модулі



Типова модульна структура САМ-системи

Рисунок В.2 – Слайд 2

Мета та задачі дипломної роботи

Мета роботи – розробка програмного забезпечення формування конструктивно-технологічних елементів для автоматизації технологічної підготовки механічної обробки.

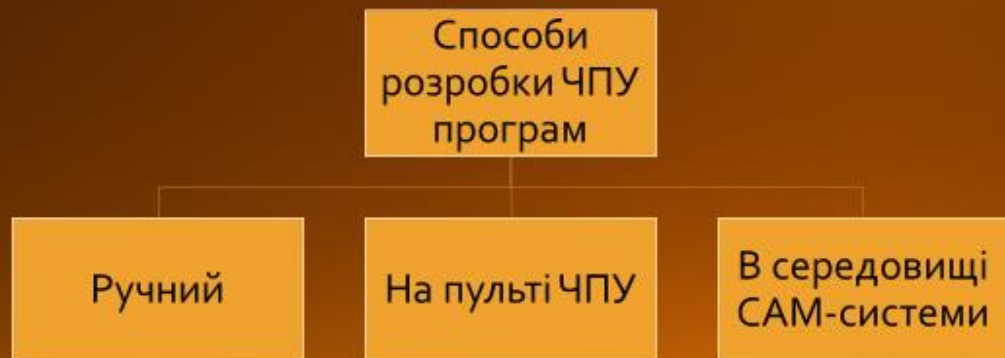
Задачі роботи:

- дослідити технології програмування для верстатів з ЧПУ;
- обрати середовище та мову програмування для складання програми обробки деталі на верстаті з ЧПУ;
- обрати інструментарій розробки та створити програму формування конструктивно-технологічних елементів (КТЕ) на основі списку елементарних оброблюваних поверхонь;
- розробити алгоритм автоматизованої технологічної підготовки виробництва на основі інтеграції розробленої програми та САМ-системи;
- розробити програмну документацію.

3

Рисунок В.3 – Слайд 3

Аналіз способів розробки ЧПУ програм



4

Рисунок В.4 – Слайд 4

Вибір системи програмування для ЧПУ

Характеристика	Система програмування													
	APT	MINIAPT	BASIC EXAPT	EXAPT-2	EXAPT-2.1	COMPACT	MITURN	PAM	PROMO	ELAN-25	MELTS	AUTOPROG	GTL 13	САПІ-ІМ
Тип програмованої обробки														
Універсальна	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+
Товарна	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-
Спеціалізовано-фрезерна	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мова програмування														
Типу АРТ	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Цифрова	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+
Кодова	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
Розбірка припуску на основі														
Геометричних даних	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Призначення режимів	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
Технологічних даних	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+
Вибір інструмента	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
Формування послідовності переходів	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+
Режим використання														
Пакетний	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+
Діалоговий	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-
Графічний контроль	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+

5

Рисунок В.5 – Слайд 5

Структура програми «Технолог»



6

Рисунок В.6 – Слайд 6

Результати роботи програми «Технолог»

id	feature	d1	d2	l	tolerance	rkd	x	y	z
1	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	10	11.5
2	phi	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	10	11.5
3	cyl	11	11	9.5	10	Ra2.5	10	10	20
4	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	10	0	11.5
5	phi	6.6	11	0	0	Ra3.2	10	0	11.5
6	cyl	11	11	9.5	10	Ra2.5	10	0	20
7	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	0	11.5
8	phi	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	0	11.5
9	cyl	11	11	9.5	10	Ra2.5	70	0	20
10	cyl	6.6	6.6	11.5	10	Ra1.25	70	10	11.5
11	phi	6.6	11	0	0	Ra3.2	70	10	11.5
12	cyl	11	11	9.5	10	Ra2.5	70	10	20
13	cyl	6.6	6.6	19	7	Ra8.22	24	25	19
14	sca	6	8	1	0	Ra3.2	24	25	20
15	cyl	6	6	19	7	Ra8.22	22	20	19
16	sca	6	8	1	0	Ra3.2	22	20	20
17	cyl	6	6	19	7	Ra8.22	22	11	19
18	sca	6	8	1	0	Ra3.2	22	11	20
19	cyl	6	6	19	7	Ra8.22	40	20	19
20	sca	6	8	1	0	Ra3.2	40	20	20
21	cyl	6	6	19	7	Ra8.22	40	11	19
22	sca	6	8	1	0	Ra3.2	40	11	20
23	cyl	6	6	19	7	Ra8.22	56	25	19
24	sca	6	8	1	0	Ra3.2	56	25	20

Результат обробки текстового файлу

id	feature	d1	d2	l	tolerance	rkd	x	y	z
1	cyl	6.6	6.6	11.5	10	5			11.5
2	phi	11	0	0	0	12.8			11.5
3	cyl	11	0	0	10	10			20
4	cyl	6.6	6.6	11.5	10	5			11.5
5	phi	11	0	0	0	12.8			11.5
6	cyl	11	0	0	10	10			20
7	cyl	6.6	6.6	11.5	10	5			11.5
8	phi	11	0	0	0	12.8			11.5
9	cyl	11	0	0	10	10			20
10	cyl	6.6	6.6	11.5	10	5			11.5

Результати формування списку КТЕ

Рисунок В.7 – Слайд 7

Схема алгоритму автоматизованої технологічної підготовки механічної обробки

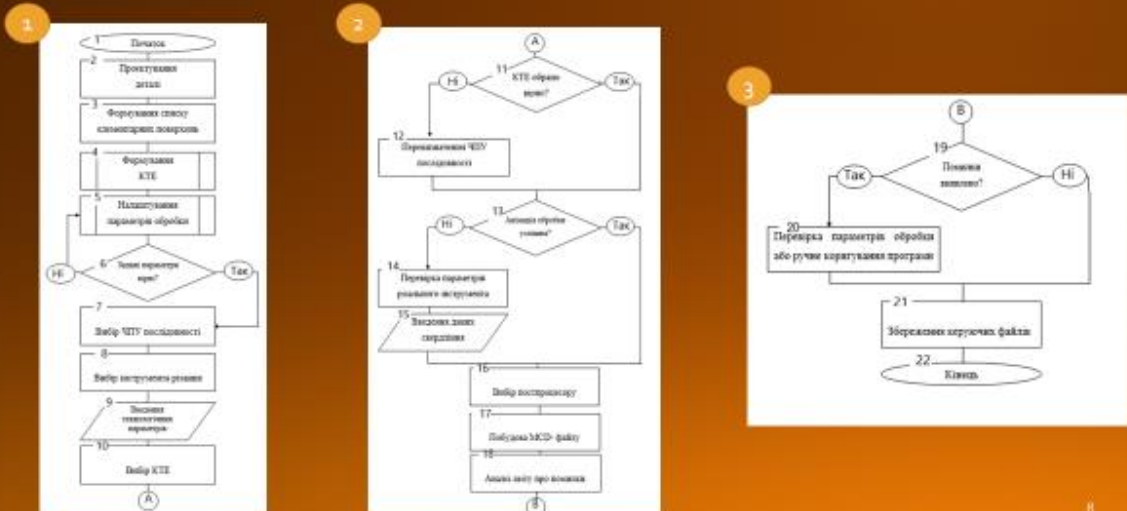


Рисунок В.8 – Слайд 8

Екранні форми САМ-системи

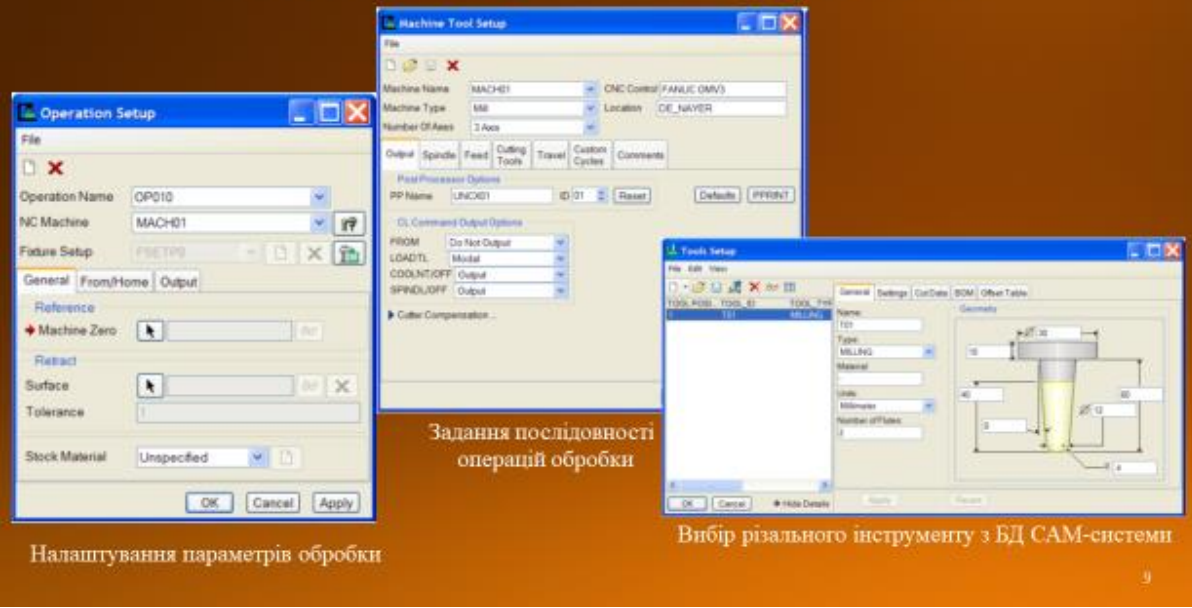


Рисунок В.9 – Слайд 9

Екранні форми САМ-системи

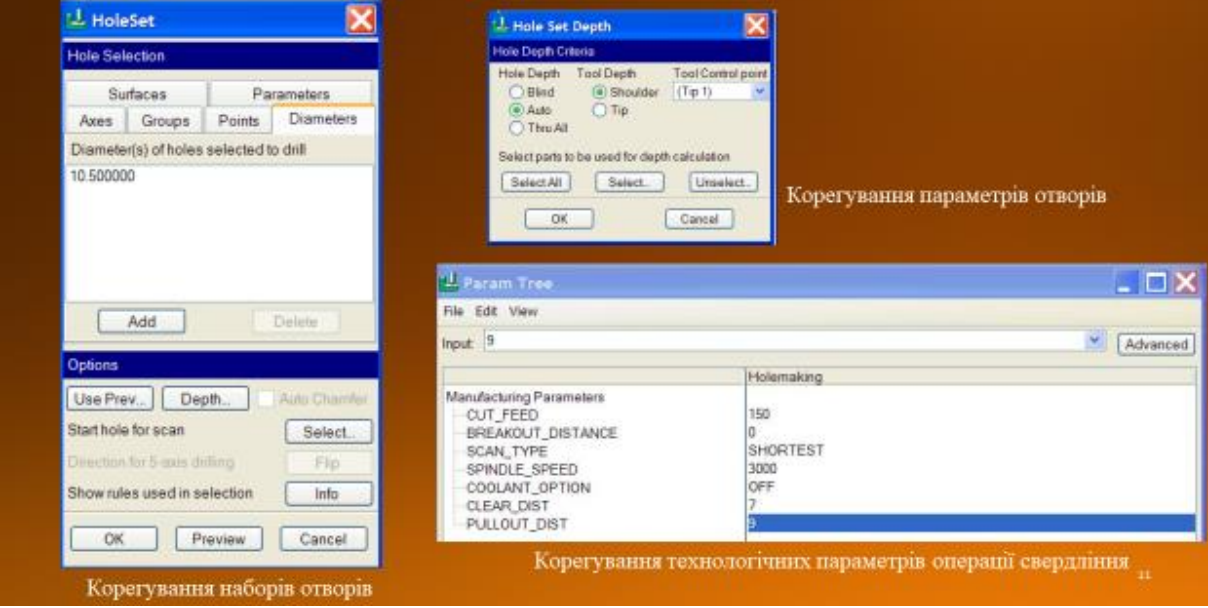
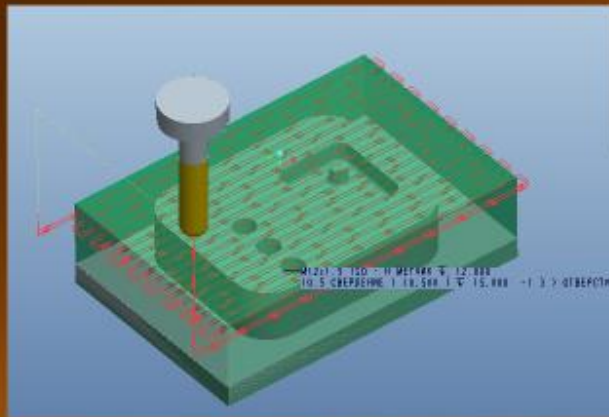
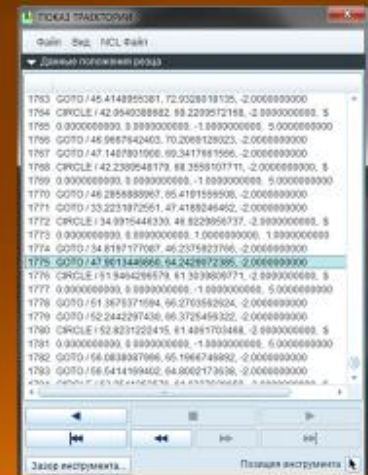


Рисунок В.10 – Слайд 10

Перевірка програми обробки



Анімація обробки



Вікно управління обробкою

11

Рисунок В.11 – Слайд 11

Висновки

- Розроблена програма «Технолог» дозволяє на основі текстових файлів, що містять набір елементарних поверхонь, які підлягають механічній обробці, сформувати КТЕ для подальшого використання в якості вхідних даних для САМ-системи.
- В результаті інтеграції розробленої програми з САМ-системою Creo Complete Machining Extension, розроблено програму обробки деталі на верстаті з ЧПУ.
- Розроблена програма працездатна, що підтвердило проведене імітаційне моделювання траєкторії руху різального інструменту.
- Подальший розвиток цієї системи може бути спрямований на формування інших типів КТЕ на основі списків елементарних поверхонь, а також розширення списку можливих типів поверхонь.

12

Рисунок В.12 – Слайд 12



Дякую за увагу

Рисунок В.13 – Слайд 13