

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНА РОБОТА

Автоматизована генерація кодів оброблення деталей на
верстатах з ЧПК на основі САD-моделей
Назва теми

Рівень вищої освіти: другий (магістр)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Шифр і повна назва галузі знань

Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Шифр і повна спеціальність

Спеціалізація: Технології машинобудування
Назва

Освітня програма: Технології машинобудування
Назва

Шифр 22388

Виконав

студент 2 курсу група ПМТм-22-1


Шифр



Іван ЛАРІОНОВ

Ім'я, прізвище

Керівник: к.т.н., доцент



Юлія СОКОЛАН

Ім'я, прізвище

Нормконтролер



Сергій БИШЬ


Ім'я, прізвище

До захисту допускаю

Завідувач кафедри

Технології машинобудування

Назва



Віталій ТКАЧУК

Ім'я, прізвище

Дата _____

Хмельницький 2023

Завідувачу кафедри
Віталію ТКАЧУКУ

здобувача вищої освіти (студента
ПІБ, факультет, «курс», «група»)
Івана ДАРІОНОВА
ФІТА, гр. ПМТм-22-1

ЗАЯВА

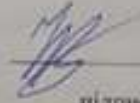
Згідно з правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, оповіщений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.12.25

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ Технології машинобудування
 ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджую ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:
 Назва кваліфікаційної роботи «Автоматизована генерація кодів оброблення деталей на верстатах з ЧПК на основі САD-моделей»
 Автор І.В. Даріонов
 Освітня програма Технології машинобудування
 Спеціальність: 131 Прикладна механіка
 Науковий керівник: Ю.С. Соколан
 Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (дані – зазначаються підставою віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	Робота приймається до захисту
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи (дані – зазначаються детально та аргументовані підставою віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укрітити запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:
 ... UNICHECK – 3,45%
 ... Anti-Plagiarism v-15.257 – 0,0 %

Дата

Завідувач кафедри  Віталій ТКАЧУК
 Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми  Віталій ТКАЧУК
 Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи  Юлія СОКОЛАН
 Ім'я, прізвище

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу студента Ларіонова І.В.

Тема роботи: Автоматизована генерація кодів оброблення деталей на верстатах з ЧПК на основі САД-моделей

Тема дипломної роботи, та її зміст відповідають обраній спеціальності. Дипломна робота має необхідні розділи згідно завдання.

У дипломній роботі студент розглянув можливість автоматизованого проектування оброблення деталей. У першому розділі наведено мету та поставлені задачі, які в повному обсязі розглянуті у роботі. Також наведено технічні характеристики верстату.

У другому розділі наведена методологія проведення дослідження, наведено блок-схеми САМ-систем та процесу проведення дослідження, а також наведено методологію дослідження на верстатах Roland MDX-40A та HAAS VM3.

В третьому розділі наведені основні теоретичні концепції написання кодів обробки деталей для верстатів з ЧПК, пояснено формування координатної системи та тректорії руху інструменту, а також описано розроблений скрипт автоматизації.

Четвертий розділ присвячений застосуванню отриманого скрипту автоматизації та програмного забезпечення SPR pro і можливість використання такого коду обробки деталі на інших верстатах, наприклад HAAS VM3. В роботі розглядається сім типових деталей, що робить дослідження достатньо об'ємним та вагомим. За проведеним дослідженням у випадку коду для всіх деталей спостерігається значне зменшення коду обробки деталі.

Все це свідчить про досить високий рівень дипломника як сформованого магістра. Робота виконана у відповідності із поставленим завданням, має наукову новизну, логічно структурована, використовує новітні підходи до вирішення поставлених завдань.

Результати роботи були опубліковані у науковому журналі Вісник ХНУ. Технічні науки та у тезах доповіді на конференції «Наука та металургія», що свідчить про науковий підхід до написання роботи.

Вагомих недоліків в дипломній роботі не виявлено.

Зауважень до роботи немає.

Дипломна робота, виконана згідно завдання, в повному обсязі на високому технічному рівні та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент: к.т.н., доц.,
зав. каф. АКІТтаР, ХНУ

Макаришкін Д.А.

«20» «12» 2023 р.

Анотація

Тема роботи: «Автоматизована генерація кодів оброблення деталей на верстатах з ЧПК на основі САD-моделей»

Автор: Ларіонов І.В., Керівник роботи: Соколан Ю.С.

Об'єм пояснювальної записки 104 сторінки. Графічна частина: 8 листів формату А1.

Спеціальність: 131 Прикладна механіка.

В дипломній роботі розглянуто можливість автоматизованої генерації кодів оброблення деталей на верстатах з ЧПК на основі побудованих САD-моделей у відповідному програмному забезпеченні.

Актуальність. Автоматизація виробничих процесів призводить до зменшення часу, витраченого на виконання процесу, мінімізації кількості помилок шляхом зменшення впливу людського фактору. Використання автоматизованого методу генерування кодів оброблення деталей має більший рівень гнучкості програм обробки деталей, оскільки при зміні параметрів моделі у програмі, в якій створювалась геометрія деталі, згенерований автоматично код обробки деталі буде змінюватись без втручання оператора верстату з ЧПК. Внаслідок використання скриптів автоматизації кодів обробки деталей, такі коди можна використовувати на різних верстатах, наприклад, Roland MDX 40A та HAAS VM3.

Метою дипломної роботи є вивчення потенціалу автоматизації генерації кодів обробки деталей на верстатах з ЧПК.

Об'єкт дослідження – процес створення коду оброблення деталей для верстатів з ЧПК.

Предмет дослідження – коди оброблення деталей, сформовані у різному програмному забезпеченні.

Наукова новизна. В роботі проведено аналіз можливості автоматичної генерації кодів оброблення деталей для верстатів з ЧПК, яке формується в програмному забезпеченні SPR pro. В результаті проведеного аналізу встановлено, що код, сформований у SPR pro має менше рядків, ніж код, сформований у CATIA V5 в результаті використання підпрограм. Такий код можна використовувати для оброблення деталей на верстах HAAS.

Практичне значення. Розроблений підхід до генерування кодів оброблення деталей призведе до зменшення об'єму коду внаслідок зменшення кількості рядків та використання підпрограм, що пришвидшує візуальний аналіз коду обробки деталі. Розроблений метод перевірено на ряді типових деталей, наприклад, корпус із отвором, корпус із декількома отворами однакового діаметру, корпус із декількома отворами різного діаметру.

Апробація результатів. За результатами проведених досліджень опубліковано наукову статтю «Автоматизоване генерування кодів обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням» у журналі категорії Б Вісник ХНУ. Технічні науки, а також тези доповідей на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Наука і металургія», що проходила 14-16 листопада 2023 року у м. Дніпро.

Ключові слова: автоматизація, G-коди, підпрограма, верстати HAAS, програмне забезпечення САМ, верстати з ЧПК, CATIA V5.

Автор роботи

Ларіонов В.І.

_____ 2023 р.

Abstract

Theme of the work: «Automated generation of part processing codes on CNC machines based on CAD models»

Author: Larionov I.V., Supervisor: Sokolan Yu.S.

The volume of the explanatory note is 104 pages. Graphic part: 8 sheets of A1 format.

Specialty: 131 Applied mechanics.

The work considers the possibility of automated generation of codes for machining parts on CNC machines based on the built CAD models in the appropriate software.

Relevance. Automation of production processes leads to a reduction in the time spent on the process, minimizing the number of errors by reducing the influence of the human factor. The use of an automated method of generating part processing codes has a greater level of flexibility in part processing programs, since when the model parameters are changed in the program in which the part geometry was created, the automatically generated part processing code will change without the intervention of the CNC machine operator. Due to the use of scripts for automating part processing codes, such codes can be used on different machines, for example, Roland MDX 40A and HAAS VM3.

The **purpose** of the work is to study the potential of automating the generation of part processing codes on CNC machines.

The **object** of research is the process of creating a part processing code for CNC machines.

The **subject** of research is part processing codes generated in different software.

Scientific novelty. The paper analyzes the possibility of automatic generation of part processing codes for CNC machines, which is generated in the SPR pro software. As a result of the analysis, it was found that the code generated in SPR pro has fewer lines than the code generated in CATIA V5 as a result of using subroutines. This code can be used for machining parts on HAAS machines.

Practical significance. The developed approach to generating part processing codes will reduce the amount of code due to the reduction in the number of lines and the use of subroutines, which speeds up the visual analysis of the part processing code. The developed method has been tested on a number of typical parts, for example, a body with a hole, a body with several holes of the same diameter, a body with several holes of different diameters.

Approbation of the results. Based on the results of the research, a scientific article "Automated generation of part processing codes on computer numerical control machines" was published in the category B journal Herald of KhNU. Technical Sciences, as well as abstracts of reports at the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Science and Metallurgy", held on November 14-16, 2023 in Dnipro.

Keywords: automation, G-codes, subroutine, HAAS machines, CAM software, CNC machines, CATIA V5.

The author of the work

Larionov V.I.

_____ 2023

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	14
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	16
1.1 Мета та постановка задачі.....	16
1.2 Технічні характеристики досліджуваних верстатів.....	18
2 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1 Методика дослідження.....	25
2.2 Блок-схема САМ-системи.....	28
2.3 Досліджуваний процес оброблення деталі.....	29
2.3.1 Досліджуваний процес у Roland MDX 40A	29
2.3.2 Досліджуваний процес у HAAS VM3.....	30
2.4 Надійність та достовірність моделі.....	32
3 АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	33
3.1 Основні теоретичні концепції.....	33
3.2 Координатна система та траєкторія руху	36
3.3 Основні етапи генерування кодів верстатів ЧПК	39
3.4 Скрипт автоматизації верстату ЧПК.....	42
4 АВТОМАТИЗОВАНЕ ГЕНЕРУВАННЯ КОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З САД- МОДЕЛЕЙ	45
4.1 Результати моделювання верстатів з ЧПК	45
4.2 Загальні положення генерації ЧПК-кодів в CATIA V5.....	48
4.3 Генерація кодів на верстаті Roland MDX 40A	53
4.4 Порівняння ручного та автоматизованого методу генерування кодів при обробленні деталей різної геометрії	57
4.4.1 Корпус з отвором.....	57

4.4.2 Порожнистий циліндр	72
4.4.3 Корпус із отворами однакового радіусу	83
4.4.4 Корпус із отворами різного радіусу	91
4.4.5 Піраміда.....	93
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	100
5.1 Правила безпеки при роботі за верстатами з ЧПК.....	100
5.2 Розрахунок шуму у виробничих приміщеннях	104
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112
ДОДАТКИ.....	115

ВСТУП

Сучасне виробництво потребує значних витрат часу та зусиль при використанні верстатів із числовим програмним керуванням. Для запуску виробництва певної деталі необхідно розуміти та наводити опис вхідних даних системи автоматизованого проектування, після чого описувати ці дані у вигляді об'єктів, які в подальшому підлягають обробці, а також створювати технологічні плани, вибирати параметри обробки та необхідні інструменти і визначати напрямки налаштування.

«Для генерації кодів з ЧПК використовуються дані, які в подальшому завантажуються в систему автоматизованого виробництва (САМ). Внаслідок цього можна досягти скорочення часу виконання замовлення, підвищення продуктивності та якості, а також покращення життєвого циклу розробки продукції. В роботі розглядається можливість запровадження систем автоматизованого планування проєктів (САРР) в якості ланку зв'язку між САМ та САD системами» [22, 23].

В загальному розвиток сучасних виробництв та промисловостей тримає тенденцію на збільшення модифікацій продукції за умови зменшення витрат, часу виробництва та можливих виробничих помилок. В попередніх літературних дослідженнях науковці приділяють багато уваги питанню розпізнаванню об'єктів, що є основним у системах САПР. Але слід враховувати, що для побудови ефективної системи автоматизації необхідно також приділяти достатньо уваги послідовності операцій та аналізу налаштувань.

В аналізі налаштувань відбувається класифікація елементів заготовки, які підлягають подальшій обробці та відбувається визначення точки відліку для кожного окремого налаштування. Автоматизація процесу планування потребує одночасного проведення аналізу налаштувань, вибору інструменту, генерації траєкторії його руху та розпізнавання ознак.

«Слід враховувати, що в результаті автоматизації процесу генерації кодів для верстатів з ЧПК звано зменшується участь людини в процесі обробки, оскільки більшість завдань виконуються обчислювальною технікою. В

результаті такої автоматизації можна досягнути двох протилежних наслідків. Першим наслідком стане мінімізація людського фактору та можливості виникнення помилок. Другий фактор призводить до усунення потреби у висококваліфікованих працівниках на етапі генерації коду» [22, 23].

Метою дипломної роботи є процес автоматизації генерації кодів для верстатів з числовим програмним керування (ЧПК) на основі геометричних моделей автоматизованого проєктування (САПР), а також визначення потенціалу генерації таких кодів.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Мета та постановка задачі

«В сучасних реаліях процес генерації кодів для верстатів з ЧПК проводиться вручну, або ж оператор верстату пише код для CAD-моделі, яка була запроектована на попередньому етапі. На наступному етапі код верстату з ЧПК симулюється для подальшої перевірки на наявність помилок, тобто проводиться процес компіляції коду. Цей етап є обов'язковим перед початком роботи та проведення оброблення деталей на верстатах з ЧПК.

Написання та подальше калібрування коду для верстату з ЧПК є достатньо трудомісткою процедурою. При цьому слід відзначити, що більша частина часу витрачається на етап роботи із CAD/CAM моделями та операціями з ЧПК, що виконуються вручну. Така проблематика значно сповільнює процес оброблення деталей на верстатах з ЧПК. Ключем вирішення цієї проблеми є автоматизація процесу генерації коду для верстату з ЧПК» [23].

Основні етапи, які необхідно розглянути в дипломній роботі наведені на рис. 1.1.

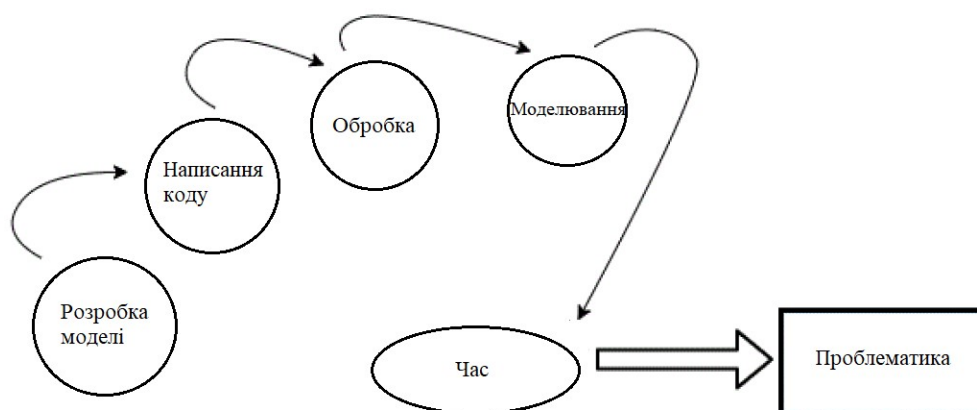


Рисунок 1.1 – Поточна постановка задачі (проблематики)

Керуюча програма верстату з ЧПК представляє собою упорядкований набір команд, за допомогою яких проводиться визначення переміщення

виконавчих органів верстатів. В керуючу програму входять також різноманітні допоміжні функції [13].

«Кожна із програм оброблення складається з певної кількості рядків, які, в свою чергу, називають кадрами керуючої програми (ККП). Кадри керуючої програми – це складові керуючої програми, які відпрацьовуються та вводяться як єдине ціле, при цьому містять не менше однієї команди. Зчитування програми відбувається покадрово.

Кожному кадру прийнято призначати свій власний номер, який позначається літерою N та розташовується на початку кадру. Підготовчі коди позначаються адресою, яка позначається літерою G та вони визначають налаштування системи ЧПК на виконання роботи. Допоміжні кадри позначаються M, які призначені для керування режимами роботи» [23]. Приклади кадрів з кодом та їх призначення наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. – Приклади кадрів з кодом та їх призначення [13]

Коди	Приклади кадрів з кодом та їх призначення
<i>1</i>	<i>2</i>
Допоміжні коди	
M30	Кінець програми
M08	Вмикання подачі охолоджувальної рідини
M09	Вимикання подачі охолоджувальної рідини
M06	Автоматична заміна інструменту
M01	Запрограмована зупинка за вибором
M00	Запрограмована зупинка
M05	Зупинка шпинделя
M04	Обернене обертання шпинделя
M03	Пряме обертання шпинделя
Підготовчі коди	
Постійні цикли обробки отворів	
G85	Цикл розточування отвору

Продовження таблиці 1.1.

G82	Цикл свердлування із затримкою на дні отвору
G81	Цикл свердлування
Коди налаштування	
G91	Відносне позиціонування
G90	Абсолютне позиціонування
G21	Введення мертвичних даних
G20	Введення дюймових даних
Коди осьового переміщення	
G03	Кругова інтерполяція (проти годинникової стрілки)
G02	Кругова інтерполяція (за годинниковою стрілкою)
G01	Лінійна інтерполяція
G00	Прискорене переміщення

В результаті в дипломній роботі поставлені наступні задачі:

- налаштування програмного середовища та процес визначення кінематики для оброблення на верстатах із ЧПК;
- визначення операцій та параметрів інструменту;
- автоматична генерація G-коду;
- моделювання коду та подальше порівняння із ручним налаштуванням;
- індивідуальний постпроцесор для генерування траєкторій.

Метою дипломної роботи є процес автоматизації генерації кодів для верстатів з числовим програмним керування (ЧПК) на основі геометричних моделей автоматизованого проєктування (САПР), а також визначення потенціалу генерації таких кодів.

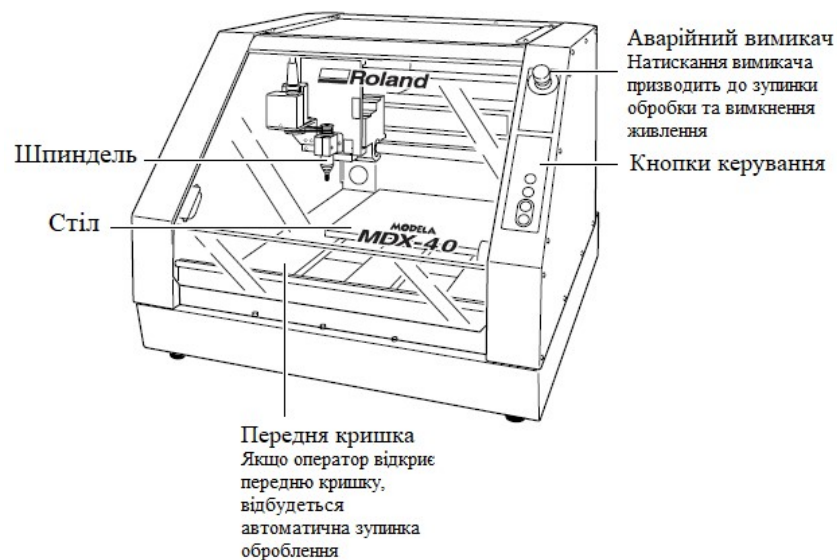
1.2 Технічні характеристики досліджуваних верстатів

В роботі досліджується процес автоматизованої генерації кодів для двох верстатів. Перший верстат виробництва Roland (Німеччина) моделі MDX-40A

(рис. 1.2) представляє собою універсальний фрезерно-гравіювальний верстат з ЧПК [23].



а)



б)

Рисунок 1.2 – Верстат Roland MDX 40A:

а – зовнішній вигляд; б – елементи управління

«Цей верстат може підтримувати установку як 3D-скануючої головки, так і поворотної осі. Оцифрування тривимірних об'єктів можна виконувати на 3D

сканері, після чого можна виконувати кругову та чотирьох сторонню обробку за допомогою поворотної осі. Оператору достатньо легко освоїти управління верстатом MDX-40A, оскільки в ньому наявна можливість автоматичного визначення нульової точки по осі Z, а також в нього просте програмне забезпечення та USB інтерфейс. На цьому верстаті можна створювати майстер-моделі, готові вироби та прототипи» [23]. Під час роботи без застосування поворотної осі можна проводити гравіювання штампів, невеликих прес-форм, кліше на кольорових металах (мідь, алюміній, магній, латунь).

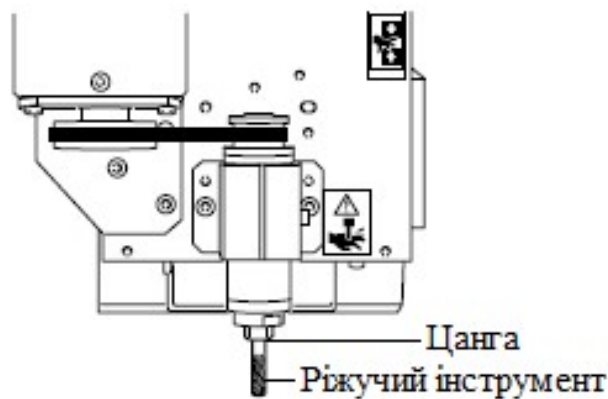


Рисунок 1.3 – Кріплення інструменту. Схема

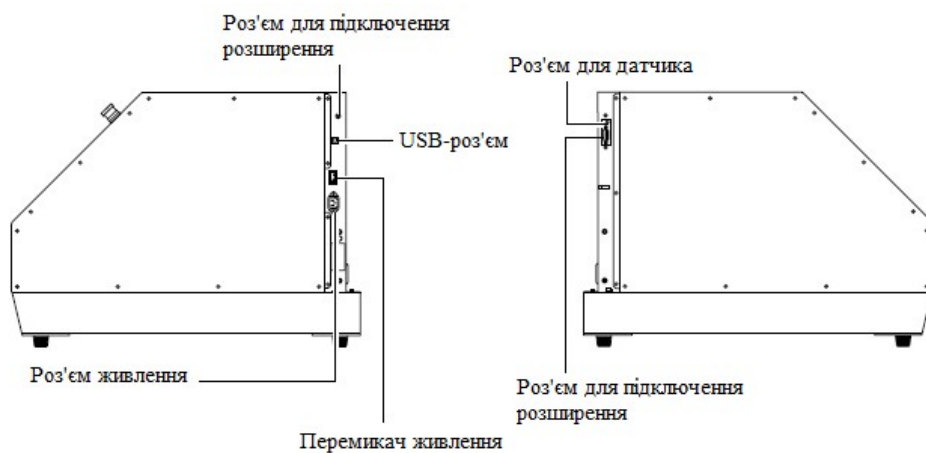


Рисунок 1.4 – Порти підключення верстату

Особливості верстату MDX-40A наступні [25]:

- захисний кожух має функцію автоматичного відключення у випадку відкривання кришки, що забезпечує високий рівень безпеки та низький рівень шуму;

- розміри робочої області становлять $305(X) \times 305(Y) \times 105(Z)$ мм;

- автоматичне визначення початкової точки по осі Z;

- можливість установки поворотної осі для кругової та чотирьохсторонньої обробки;

- максимальний розмір заготовки: довжина 270 мм, діаметр 120 мм;

- переміщення при встановленій поворотній осі становлять $271(X) \times 305(Y) \times 68(Z)$ мм;

- програмне забезпечення для чотирьох- та трьохосьової обробки;

- можливість установки головки сканування;

- шпиндель із зменшеною вібрацією та збільшеним крутним моментом (15000 об/хв);

- підтримка G-кодів при механічному розширенні 0,002 мм, при програмному – 0,001 мм.

При цьому слід взяти до уваги обмеження верстату Roland MDX 40A, а саме [4]:

- оскільки вісь Z представляє собою вісь шпинделя, то при обробці можливе використання лише одного інструменту;

- глибина різання не повинна перевищувати довжину інструменту, при чому максимальна довжина інструменту становить 25 мм;

- для запуску програми використовуються формати файлів SPJ/.stl, NCF/.NC.

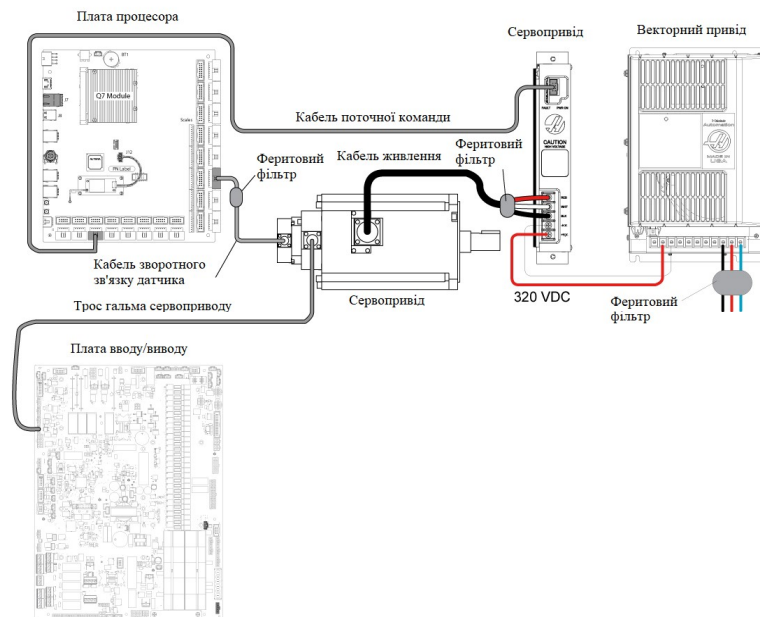
Другий досліджуваний верстат – HAAS VM-3 (рис. 1.5). Верстати HAAS серії VM представляю собою високопродуктивні вертикальні оброблювальні центри, які здатні забезпечувати не тільки жорсткість та точність обробки, але й температурну стабільність для виготовлення штампів та прес-форм. Кожна модель відрізняється розміром робочого простору, швидкість обертання

шпинделя сягає 12000 об/хв, стіл розрахований на різні пристрої. До стандартних функцій належать пристрій заміни інструменту бокової установки, автоматичний пневматичний пістолет, мають в наявності сопло подачі змащувально-охолоджувальної рідини із можливістю його програмування, а також функцію повного попереднього перегляду [8, 23].

Технічні характеристики верстату HAAS VM-3 наведені у табл. 1.2.



a)



б)

Рисунок 1.5 – Верстат HAAS VM-3:

а – зовнішній вигляд; б – принципова схема підключення елементів

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики верстату HAAS VM-3 [8]

Хід по осі X	1016 мм
Хід по осі Y	660 мм
Хід по осі Z	635 мм
Мінімальна відстань від переднього торця шпинделя до столу	107 мм
Максимальна відстань від переднього торця шпинделя до столу	742 мм
Максимальна потужність	22,4 кВт
Максимальний крутний момент	122 Нм
Максимальна швидкість шпинделя	12000 об/хв
Ширина столу	610 мм
Довжина столу	1372 мм
Відстань по центру T-подібних пазів	100 мм
Ширина T-подібних пазів	від 15,9 до 16 мм
Кількість T-подібних пазів	6 по X та 13 по Y
Рівномірно розподілена максимальна вага на столі	1814 кг
Різання на максимальну глибину	12,7 м/хв
Максимальне осьове зусилля вздовж осей Z, Y, X	18238 Н
Максимальна вага інструменту	5,4 кг
Максимальний діаметр інструменту	64 мм
Максимальна довжина інструменту	330 мм
Об'єм змащувально-охолоджувальної рідини	208 л

Для верстату HAAS VM3 в розрізі виконання поставлених задач також існує ряд обмежень, які наведені далі:

- процес оброблення повинен виконуватись відносно осі Z;
- оптимальний розмір заготовки становить 100 мм у формі квадрата.

2 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Методика дослідження

На рис. 2.1 наведено структуру методики проведення дослідження та її складові елементи.

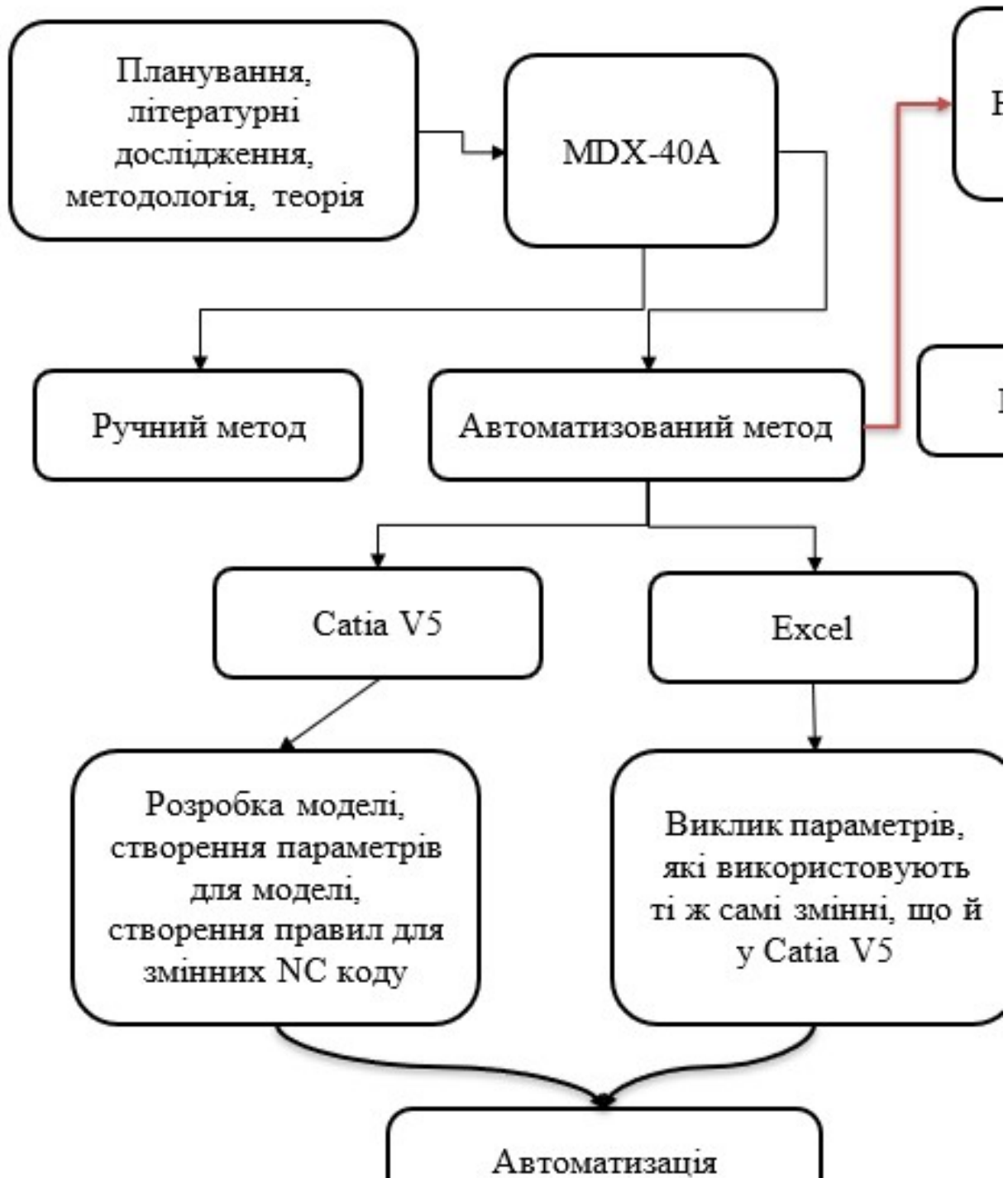


Рисунок 2.1 – Опис процесу автоматизації

«Робота виконується на двох різних верстатах. Для автоматичної генерації G-кодів запуску верстату MDX 40A і подальшого створення будь-якої заданої CAD-моделі створюється відповідний фреймворк. Робота із фреймворком поетапна, на першому етапі розробляється та імпортується модель у програмне забезпечення фрезерного верстату MDX 40A SRP pro, яке використовує відповідні формати файлів. Генерування коду для програмного забезпечення SRP pro на цьому етапі виконується вручну.

Наступний фреймворк створюється для автоматичної генерації кодів в програмному забезпечення SRP засобами автоматизації для обробки на верстатах з ЧПК. В результаті порівнюються результати по часу виконання ручного та автоматично згенерованого коду, а також аналізуються дані стосовно точності проведених обробок.

В автоматизованому режимі проєктується параметрична модель в програмі Catia V5. Код моделі повинен бути написаний на основі аналізу траєкторії руху інструменту, його положення, розміру, аналізу розмірів моделі, тощо. Цей набір параметрів буде першим для моделі.

Після аналізу коду в програмі Catia V5 буде створено другий набір параметрів. Такий набір створюється для присутніх у коді змінних, до яких можна віднести глибину різання, координати положення по осям X та Y, тощо. На цьому етапі відбувається зв'язок наборів параметрів за допомогою формул, в результаті чого будується взаємозв'язок геометрії із кодом. У випадку, якщо використовується автоматизований метод генерації NC-кодів, то вони генеруються автоматично.

Таким чином після проведеного аналізу коду для будь-якого із вимірів виробу та/або деталі у оператора є можливість згенерувати нові коди у випадку зміни розмірності моделі. Змінити розмірність моделі можна шляхом зміни основних її параметрів.

Генерування коду відбувається автоматично в текстовому форматі, після чого його можна змінити на формат файлу «.NC» для подальшого запуску на верстаті з ЧПК. Такий підхід буде також використовуватись для верстату з ЧПК HAAS VM 3.

Використання цього коду призводить до моделювання на панелі дисплея верстату з ЧПК відповідної симуляції та перевірки точності написаного коду. Поки триває симуляція відповідно до стандартів верстата та вимог проєктування можна ввести необхідні зміни, наприклад, розмір інструменту, встановити інший початок координат, змінити інструмент, тощо» [23]. Після остаточного моделювання заведена операція обробляється на верстаті з ЧПК.

2.2 Блок-схема САМ-системи

На рис. 2.2 покроково наведено процес автоматизованої генерації кодів, який починається із створення 3-вимірної САD-моделі. «Ця модель на наступному етапі експортується в САМ інтерфейс з метою визначення параметрів та послідовності операцій. На етапі подальшої обробки відбувається пов'язування визначених для моделі параметрів із сценарієм роботи ЧПК, тобто будується взаємний зв'язок геометрії та коду. На наступному етапі код експортується у верстат з ЧПК для оброблення. Такий скрипт дозволяє визначати такі параметри оброблення деталі, як швидкість подачі, швидкість обертання шпинделя, глибину різання, тощо» [22, 23].

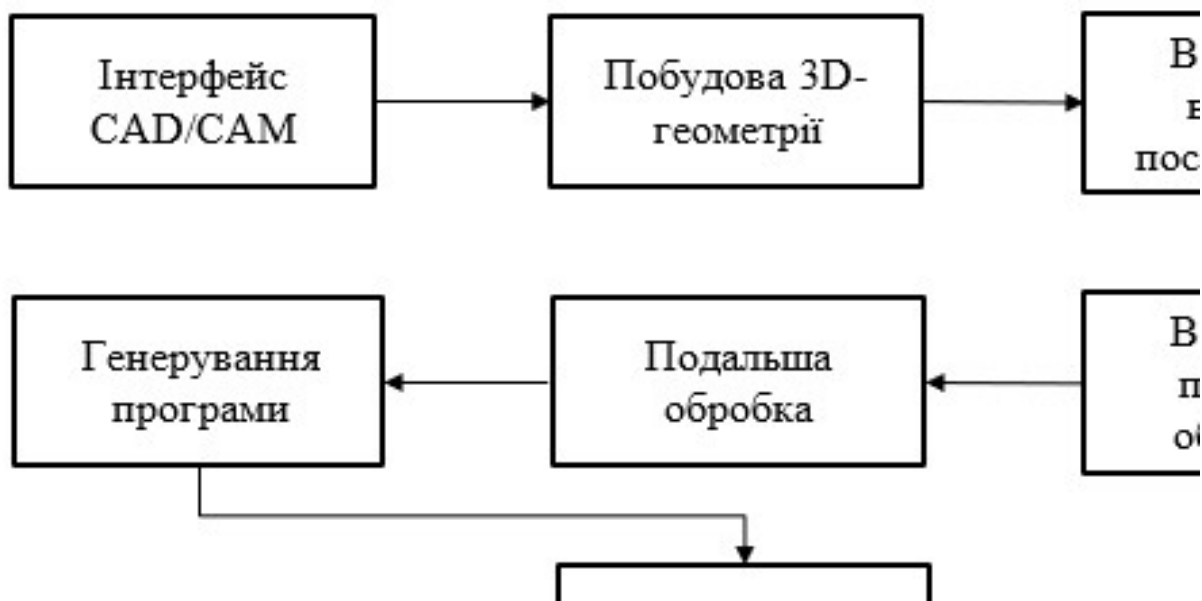


Рисунок 2.2 – Структурна схема САМ-системи

2.3 Досліджуваний процес оброблення деталі

2.3.1 Досліджуваний процес у Roland MDX 40A

У поточному процесі роботи верстату Roland MDX 40A проєктування моделі в програмному забезпеченні SPR здійснює оператор. SPR – це вбудоване програмне забезпечення, наявне у верстаті Roland MDX 40A. На панелі фрезерного верстату проєктується кожна модель деталі за допомогою вищезазначеного програмного забезпечення. В цьому ПЗ необхідно задати інструкції, наприклад, створити траєкторію інструменту, обрати тип фрезерування, тощо. На рис. 2.3 наведено узагальнену схему роботи із SPR.

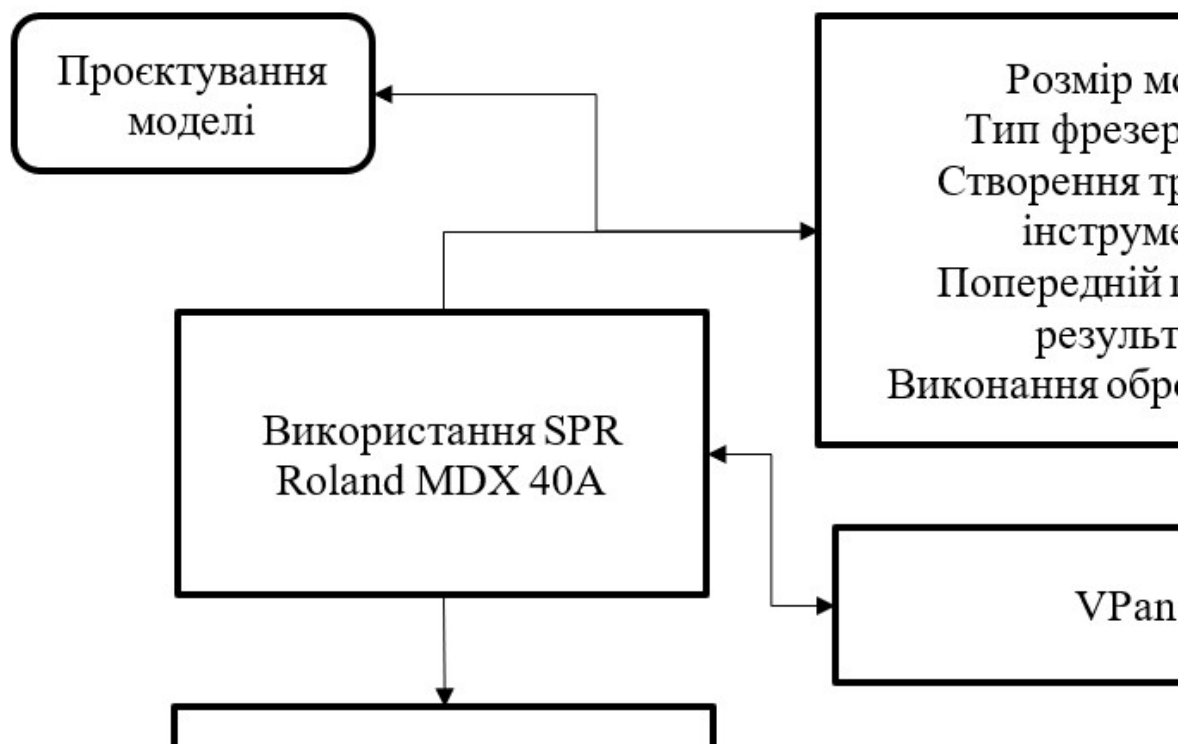


Рисунок 2.3 – Досліджуваний процес на верстаті Roland MDX 40A

Для встановлення початку координат вручну шляхом налаштування координатних осей X та Y використовується інструмент VPanel. Після проведеної обробки за заданими параметрами програмне забезпечення верстату генерує код обробки моделі.

2.3.2 Досліджуваний процес у HAAS VM3

В досліджуваному процесі оброблення деталей на HAAS VM3 існують два можливих підходи. В першому з них (рис. 2.4) оператор спочатку проводить розробку моделі, після чого вручну аналізує цю модель для подальшого написання коду. Такі написані коди перед початком оброблення деталі використовуються спочатку у якості симуляції, що дозволяє перевірити наявність помилок у коді. Якщо код успішно пройшов перевірку і помилки відсутні, то код використовується для оброблення деталі.



Рисунок 2.4 – Підхід до оброблення деталі на HAAS VM3 з аналізом коду оператором

Недоліком такого підходу (ручного аналізу оператором) є те, що процедуру перевірки коду оператору необхідно проводити щоразу при розробці

нової моделі. В результаті збільшується час виконання підготовчого етапу, який передує обробленню деталі, а також збільшується ймовірність виникнення помилок у кодї, оскільки зміна його компонентів проводиться вручну оператором, тобто не повністю виключається людський фактор.

У другому підході (рис. 2.5) оператор виконує розробку моделі в САМ-програмі (до прикладу, Catia V5). В налаштуваннях САМ-програми необхідно змінити декілька налаштувань які дозволять проводити автоматично генерацію коду для ЧПК.



Рисунок 2.5 - Підхід до оброблення деталі на HAAS VM3 з автоматичною генерацією коду

На наступному етапі використовується розширений процес обробки, при якому проводиться вибір плану оброблення деталі, осі інструменту, тощо. Цей етап необхідний для генерації коду для верстату з ЧПК в програмному забезпеченні при запуску процесу оброблення деталі.

У випадку використання такого підходу, згенеровані коди мають відмінні від стандартних траєкторію руху інструменту та початок цієї траєкторії, тобто в такому коді будуть відсутні стандартні коди верстатів з ЧПК. Враховуючи цей фактор такі зміни обов'язково необхідно внести у верстат з ЧПК перед проведенням процесу оброблення деталі на етапі симуляції обробки.

2.4 Надійність та достовірність моделі

Достовірність представляє собою ступінь правдивості отриманих результатів проведених наукових досліджень [8]. Достовірність при проведенні наукових досліджень технічного характеру залежить в першу чергу від використання точних вимірювань. В рамках конкретно поставленої задачі генерації кодів для верстатів з ЧПК показником достовірності виступає етап, на якому перед фактичною обробкою проводилась додаткова перевірка коду у вигляді його симуляції, після чого результати фактично проведеної обробки порівнювались із результатами симуляції, в той час як розміри прототипу порівнювались із геометрією, яка була задана в CAD-моделі.

Надійність побудованих при проведенні наукових досліджень моделей вказує на стабільність результатів. Вона характеризує точність, послідовність, повторюваність та достовірність проведених досліджень [9]. Тобто результати дослідження вважаються надійними, якщо при проведенні схожих досліджень але за умов різних вхідних даних були отримані стабільні результати. У випадку поставленої задачі надійність моделі буде відображатись у автоматичній генерації кодів для верстатів з ЧПК, які виконують оброблення без помилок та із заданими значеннями точності оброблення.

3 АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Основні теоретичні концепції

В загальному у світі спостерігається тенденція до збільшення кількості автоматизованих технологічних процесів, оскільки внаслідок такої автоматизації значно скорочується час, витрачений на виконання етапів технологічного процесу, збільшується точність, зменшується кількість можливих помилок внаслідок виключення або значного зменшення впливу людського фактору, зростає продуктивність виробництва, тощо.

Аналогічно до загальних тенденцій розвитку автоматизованих технологічних процесів, стрімко розвиваються засоби автоматизації програм для оброблення деталей. В результаті розвитку CAD/CAM систем інтерактивна графічна система поєднується із програмуванням деталей та їх подальшої обробки на верстатах з ЧПК. В САМ-пакеті може створюватись нова унікальна геометрична модель деталі, або ж, якщо деталь відноситься до типових, така геометрична модель може обиратись із бази даних CAD/CAM систем.

Розрахунок траєкторій руху інструменту проводиться за допомогою вбудованої команди або ж вручну інженером-конструктором на графічному дисплеї шляхом використання анімації САМ-системи. Використання анімації в САМ-системі сприяє підвищенню точності та швидкості генерації траєкторії руху інструменту при обробці деталі на верстаті з ЧПК [18]. В подальшому в розділі розглядається більш деталізований опис основних функцій при проєктуванні обробленні деталей за допомогою CAD\CAE\САМ-систем.

Узагальнена схема поетапної обробки деталі на верстаті з ЧПК наведена на рис. 3.1.

Геометричне моделювання в системах автоматизованого проєктування. CAD-, CAE-, САМ-системи можна розглядати як підсистеми інтегрованої (комплексної) САПР, при чому геометричне моделювання та подальша розробка проєктно-конструкторської документації входять у склад CAD-системи [7]. Для побудови геометричних моделей використовують декілька

основних підходів, а саме: граничне уявлення, позиційний метод, метод конструктивної геометрії [21].



Рисунок 3.1 – Узагальнена схема обробки на верстаті з ЧПК

За допомогою базових геометричних елементів (лінії, точки, дуги, поверхні, тощо) в CAD- системі визначається геометрія заготовки. Геометричні елементи у двовимірному або тривимірному вигляді можуть також зберігатись у вигляді математичної моделі.

Визначення траєкторії руху інструменту (рис. 3.2). Для визначення траєкторії руху інструменту у відповідності до керуючої програми, інженерами використовується інтерполятор. Він розраховує положення проміжних точок траєкторії руху по заданим кінцевим точкам.

Узагальнено ділянки траєкторії руху інструменту в цілому та його центра зручно представляти графічно, виходячи із фіксованого положення контуру деталі, що підлягає обробці (рис. 3.3).

Після етапу геометричного моделювання необхідно провести налаштування завдання на оброблення, при чому вводяться початкове положення інструменту. Налаштування обробки потребує введення в систему таких параметрів, як режими обробки, вибір інструменту, тощо.

Оброблення даних. Введені дані перетворюються у формат, в якому ПЗ здатне їх зчитати. Для перевірки правильності задання траєкторії руху інструменту, її відображення може бути графічно анімоване для можливості візуальної перевірки.

3.2 Координатна система та траєкторія руху

«Робочі рухи органів у верстатах з ЧПК, а також здійснення їх переміщень, програмуються в межах системи координат (рис. 3.4). В основу системи координат покладена стандартна права система координат з осями x , z , y , які вказують напрями руху інструменту (додатні) відносно нерухомої заготовки. У випадку, якщо сам інструмент нерухомий, при цьому відбувається рух заготовки, то систему координат позначають x' , z' , y' » [17, 23]. На рис. 3.4 показані осі системи координат верстату з ЧПК відносно рухів столу. Вісь Z – це вісь руху шпинделя, а ступенями свободи в цьому випадку є осі x , z , y та осі обертання a , c , b .

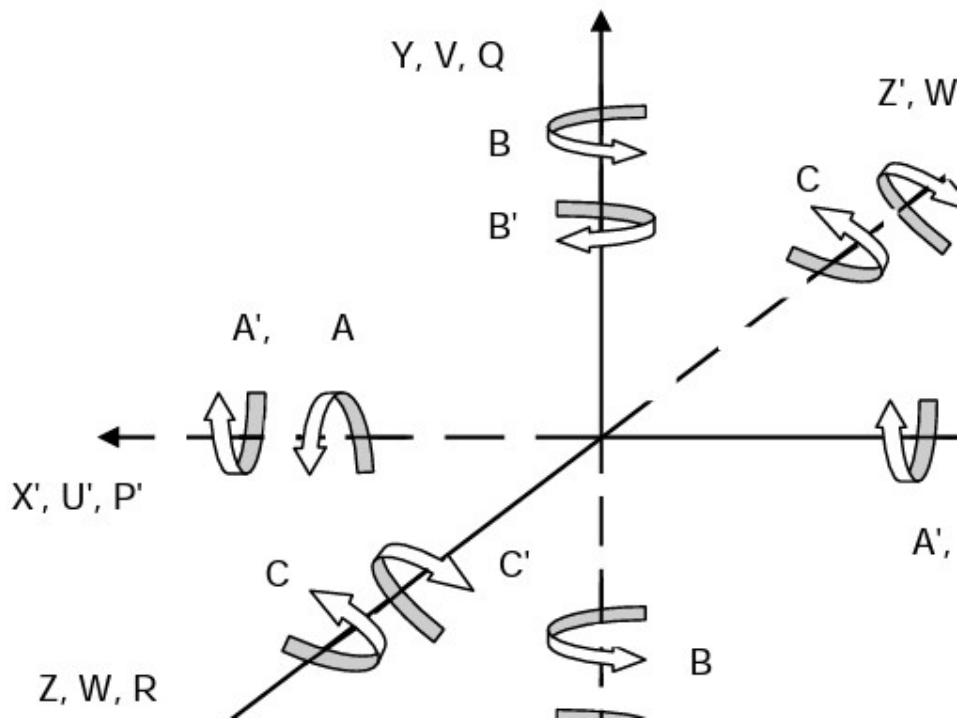


Рисунок 3.4 – Системи координат верстатів з ЧПК

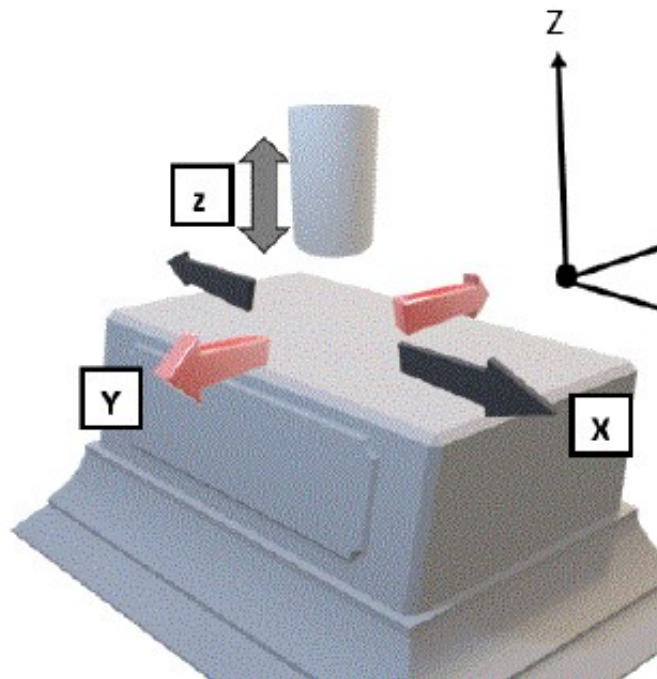


Рисунок 3.5 – Система координат верстату з ЧПК у тривимірному вигляді

У верстатах різних моделей та типів системи координат розміщуються по-різному (рис. 3.6, 3.7). При цьому завжди визначають положення початку координат та додатні напрямки осей [16].

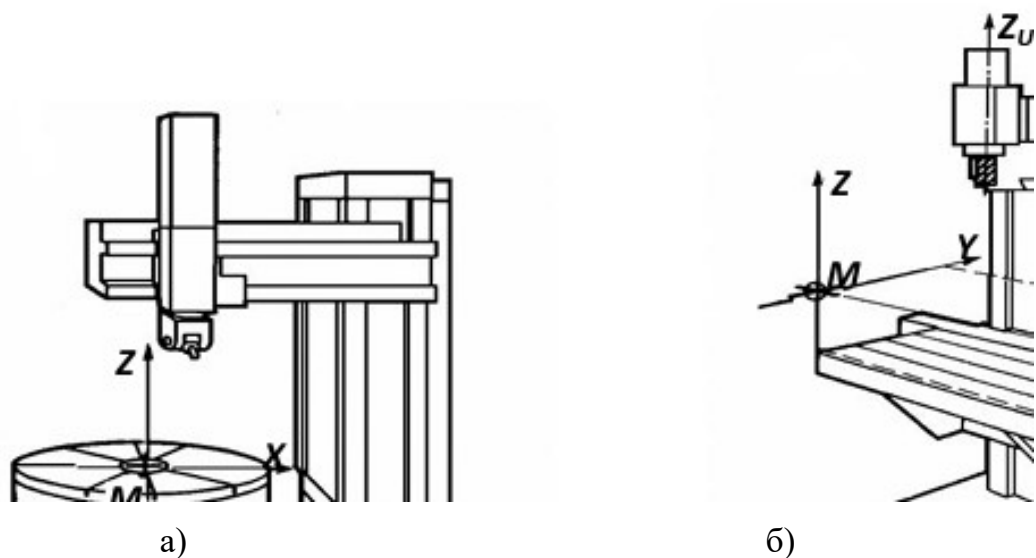


Рисунок 3.6 – Розміщення координатних систем у верстатах з ЧПК:
а – карусельний одностійковий; б – вертикально-фрезерний

виконання всієї програми оброблення деталі. Такий початок отримав назву верстатного нуля, а в паспорті верстату його завжди обумовлюють для кожного із існуючих рухомих органів.

У системах із відносним відліком координат нульовим початком завжди приймається положення виконавчого органу. Це положення відповідає тому положенню виконавчого органу, яке він мав перед початком чергового переміщення. В програму в цьому випадку записується приращення координат при виконанні переходу від попередньої точки до наступної.

3.3 Основні етапи генерування кодів верстатів ЧПК

При генерації кодів, які в подальшому використовуються на верстатах з ЧПК для оброблення деталей, для аналізу та запису координат X та Y необхідно виконати ряд етапів. При виконанні оброблення деталей необхідно дотримуватись ряду стандартних процедур, які містяться у програмі верстату. На панелі дисплея ЧПК знак «+» представляє собою центральну точку (рис. 3.8), а коди для оброблення записуються відносно цього центру.

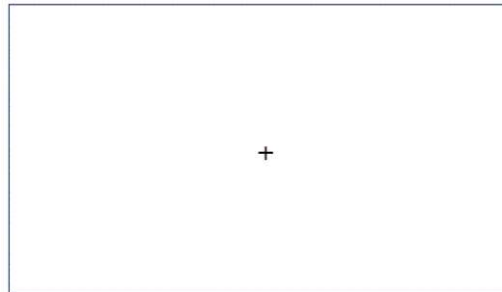


Рисунок 3.8 – Фактичний дисплей програми верстату з ЧПК із відображенням центральної точки

Осі координат X та Y , які розташовані в центрі завжди відповідають значенням 0 та 0 (рис. 3.9). Додатні та від'ємні значення осей координат відповідають стандартним правилам математики, наприклад вісь координат X та Y розташовуються від центру, при чому від'ємне значення для осі X має

напрямок ліворуч, а для осі Y донизу. Додатні значення по осям X та Y направлені відповідно направо та вгору.

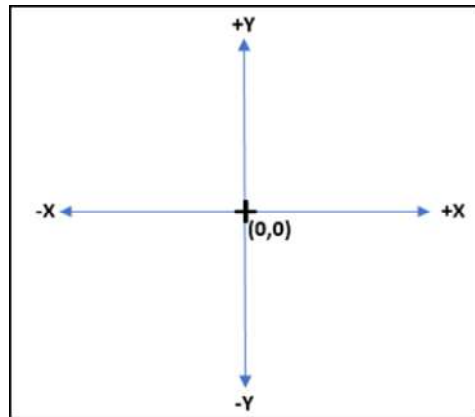


Рисунок 3.9 – Знаки осей координат відносно центру

Якщо є необхідність провести оброблення деталі у формі квадрату, то для позначення кінцевих точок у наведеному прикладі можна використовувати прямі A та B (рис. 3.10). Перетин прямих збігається із центром, а точки, які пронумеровані від 1 до 8, є позначенням кінцевих точок на певних заданих відстанях від центру координат.

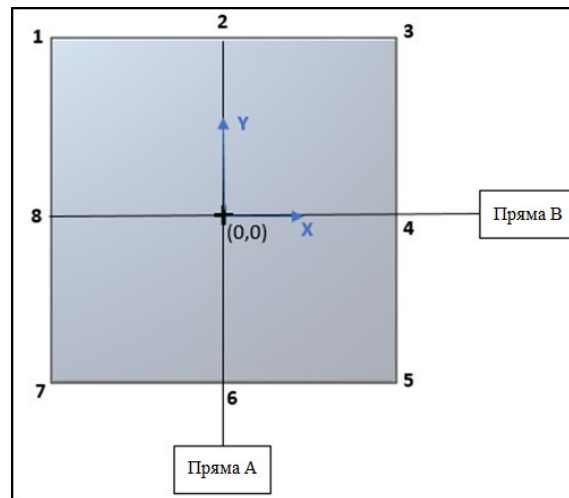


Рисунок 3.10 - Представлення точок на координатних осях

На рис. 3.11 наведено представлення координат X та Y відповідно до стандартів верстатів з ЧПК. Точки 6 та 2 на прямій A значення по осі координат

X відповідає 0, оскільки рух в напрямку цієї осі відсутній. В той же час значення по осі Y відмінне від 0, оскільки точки 6 і 2 розташовуються на певній відстані від центру в напрямку осі координат Y . Аналогічно в точках 4 та 8 значення по осі Y дорівнює 0 по причині того, що в цих двох точках відсутній рух по прямій B .

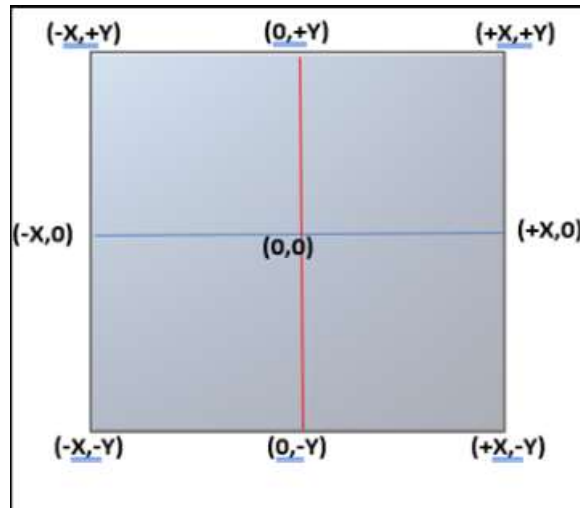


Рисунок 3.11 – Представлення координатних осей

Аналіз та запис осей координат, що застосовується в роботі, відповідає стандартам, встановленим для верстатів з ЧПК. У наведеному на рис. 3.12 прикладі розглядається обробка деталі трикутної форми із розмірами основи 30 мм і висотою 30 мм.

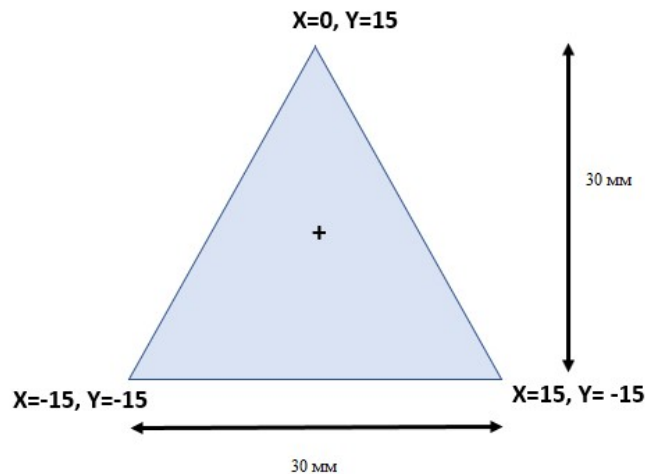


Рисунок 3.12 – Приклад запису координат для обробки трикутної форми

3.4 Скрипт автоматизації верстату ЧПК

Для вирішення поставленої задачі автоматизованого написання кодів для оброблення деталей на верстатах з ЧПК використовувався VBA. Visual Basic for Applications представляє собою спрощену реалізацію Visual Basic, яка вбудована в ряд програмного забезпечення Microsoft Office, та ряд інших пакетів прикладних програм, таких як CorelDRAW, AutoCAD, SolidWorks, ESRI, ArcGIS, WordPerfect [5]. Програмний код, який написаний на VBA дозволяє розширити функціональність спеціалізованих макро-мов, які використовувались раніше, наприклад WordBasic

У випадку написання коду на VBA, в подальшому він компілюється в проміжний Microsoft P-код, який потім відправляється на виконання віртуальною машиною.

Готовність до роботи із файлом прописаний у макросі оператором open. Цей оператор для коректної роботи повинен містити шлях до теки, режим введення або виведення, ім'я файлу та число для подальшого посилення на файл. Якщо вказати режим виводу, VBA виконає перезаписування будь-якого файлу із зазначеним ім'ям.

Для автоматичної генерації G-коду в текстовому файлі у скрипті VBA необхідно створити шлях. Відміткою для початку коду слугує команда "Print #1", за яким вказуються коди автоматизації роботи верстату з ЧПК. Виглядає це приблизно так, як це показано на рис. 3.13.

```
Open "X:\ Code.text "  
Print #1, "G28 G91 Z0"  
Print #1, "G0 G40 G80 G90"  
Print #1, "M30"
```

Рисунок 3.13 – Приклад створення скрипта із G-кодами

Після створення коду у вигляді текстового файлу, він буде збережений під іменем "Code.txt". Такий код можна в подальшому передивитись шляхом

використання стандартного вбудованого текстового редактору (наприклад, блокноту). Далі його слід перетворити у формат із розширенням ".NC", після чого його вже можна запускати на верстаті з ЧПК. Такий крок є обов'язковим, оскільки для виконання оброблення деталей на верстаті з ЧПК запускатись будуть файли лише з таким розширенням. Перетворення розширення файлу виконується дуже швидко і просто шляхом запуску функції Зберегти як і подальшого перейменування файлу на "code.NC".

Для створення кількості циклів оброблення деталі в основній програмі необхідно створити підпрограму. Приклад підпрограми наведений на рис. 3.14. В цьому випадку за виклик підпрограми відповідає код M97. Позначення L використовується саме для зазначення кількості циклів оброблення деталі.

```
M97 P901 L16  
M01  
  
N901  
G91 Z-2.5 F120 M08  
G90  
G01 G41 X-80 Y40 D14  
G01 X40  
G01 Y-40  
G01 X-40  
G01 Y57  
G01 G40 X-80 Y80  
M99
```

Рисунок 3.14 – Приклад використання підпрограми

У прикладі, що розглядається, програма при зчитуванні рядку M97 переходить до виконання рядка N901 і виконує введені коди 16 разів, поки в процесі обробки деталі не буде досягнута необхідна глибина різання. На кожному циклі обробки глибина різання становить 2,5 мм, що зазначено у елементу коду Z-2,5. Оскільки вказана в коді кількість циклів становить 16, то глибина різання тоді буде становити 40 мм. Завдяки використанню такої підпрограми фізично код записаний один раз, зчитується програмою також один раз, а виконується протягом 16 разів.

Якщо не використовувати такі підпрограми із виконанням циклу оброблення деталі 16 разів, то для досягнення встановленої глибини різання необхідно ці коди записати 16 разів. В результаті цього код буде в рази довшим, займати більше місця в пам'яті та збільшиться час написання такого коду оператором з ЧПК.

4 АВТОМАТИЗОВАНЕ ГЕНЕРУВАННЯ КОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З CAD-МОДЕЛЕЙ

4.1 Результати моделювання верстатів з ЧПК

В роботі розглядається створення фреймворку для генерації кодів верстатів з ЧПК та їх подальше використання на верстатах MDX 40A та HAAS VM3. З точки зору поставленої задачі першою різницею між верстатами є те, що на верстаті MDX 40A оператор не обмежений у геометрії CAD-моделей по причині того, що робочий стіл верстату можна обертати. На такому верстаті можна проводити обробку деталей можна одночасно проводити з обох боків, наприклад, при обробці порожнистого циліндру. Слід враховувати, що при обробці на такому верстаті наявне обмеження на розмір заготовки по причині того, що застосовується один інструмент обмеженої довжини. На противагу верстату MDX 40A на верстаті з ЧПК HAAS VM3 існує обмеження на обробку деталей складної геометрії.

На верстатах MDX 40A наявне вбудоване ПЗ, яке називається SRP pro. Оброблення деталі виконується шляхом проектування її моделі в цьому ПЗ, після чого виконувалось ручне налаштування вхідних параметрів для проведення операцій обробки деталі.

В цьому проекті використовуються наукові дослідження із використання ПЗ CATIA V5 по розробці моделі для обробки деталі на верстаті MDX 40A [2]. В цій роботі розглядалось генерації коду для запуску процесу оброблення деталі (рис. 4.1) на верстаті Roland MDX 40A.

На фрезерному верстаті MDX 40A в якості інструменту для проектування моделі використовувалось ПЗ SRP pro. Розміри моделі наступні:

- довжина корпусу 100 мм;
- висота корпусу 20 мм;
- ширина корпусу 60 мм;
- порожнина довжиною 80 мм;

- висота порожнини 15 мм;
- ширина порожнини 60 мм.

В результаті роботи ПЗ SRP та імпортування моделі, показаної на рис. 4.1, було отримано згенерований код для обробки, який показаний на рис. 4.2 та 4.3.

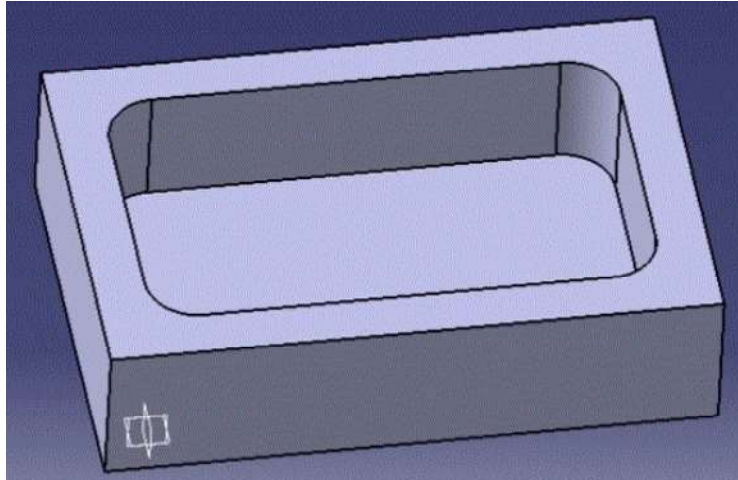


Рисунок 4.1 – Корпус з порожниною як предмет моделювання

Z582,7496,20000;	Z-7536,-4048,20000;
Z582,7496,1100;	Z-7536,-4048,520;
V50.0;Z582,7496,1100;	V15.0;Z-7536,-4048,520;
V15.0;Z582,7496,1000;	Z-7536,-4048,290;
Z580,7496,1000;	V7.5;Z-7536,-4048,-30;
Z590,7496,999;	V15.0;Z-7511,-4050,-30;
Z580,7496,998;	Z-7487,-4050,-30;
Z590,7496,997;	Z7498,-4050,-30;
Z580,7496,996;	Z7523,-4049,-30;
Z590,7496,995;	Z7547,-4046,-30;
Z580,7496,995;	Z7571,-4041,-30;
Z590,7496,994;	Z7596,-4034,-30;
Z580,7496,993;	Z7607,-4030,-30;
Z590,7496,992;	Z7620,-4025,-30;
Z580,7496,991;	Z7645,-4013,-30;
Z590,7496,990;	Z7656,-4006,-30;

Рисунок 4.2 - Вихідний код для процесу чорнової обробки

Рисунок 4.3 - Вихідний код для процесу фінішної обробки

Як видно з рис. 4.2 та 4.3 коди, які були згенеровані на програмному забезпеченні SRP мають ряд відмінностей від кодів, необхідних для оброблення деталей на верстатах з ЧПК. На рис. 4.2 показано коди, які можуть використовуватись для проведення чорнової обробки, в той час як на рис. 4.3 показані коди для проведення фінішної обробки деталі. Для кожного із циклів операцій глибина різання занадто мала, в результаті чого для кожного із процесів обробки код містить занадто велику кількість символів та команд.

Прискорення процесу оброблення деталі можна досягти шляхом автоматичної генерації коду обробки. З метою вирішення цієї задачі було створено відповідний фреймворк. Приклади автоматично згенерованих кодів обробки показані на рис. 4.4 та 4.5. Час, який був затрачений на автоматичну генерації коду обробки був меншим, у порівнянні із ручним написанням коду в SRP. В подальшому цей код планується для використання на верстаті MDX 40A з метою перевірки правильності процесу обробки.

```
G01 G41 X-60 Y50 D1
```

```
G01 X50
```

```
G01 Y-30
```

```
G01 X-50
```

```
G01 Y30
```

Рисунок 4.4 – Код для обробки

корпусу

```
G01 G41 X-40 Y25 D1
```

```
G01 X40
```

```
G01 Y-25
```

```
G01 X-40
```

```
G01 Y25
```

Рисунок 4.5 – Код для обробки

порожнини в корпусі

На рис. 4.4 показано код, який був згенерований для проведення обробки корпусу. Код позиціонується як повторюваний, оскільки для досягнення необхідної глибини різання необхідно проводити обробку декілька разів. Зменшення коду проводилось за рахунок застосування збільшеного діапазону значень глибини різання Z. Такий підхід пояснюється неможливістю використання підпрограм на верстаті Roland MDX 40A.

Наприклад, для першого циклу обробки значення глибини різання становило -5, а для наступного -10. Такий підхід застосовувався до моменту досягнення програмою обробки деталі необхідної глибини різання. За рахунок використання такого підходу у оператора ЧПК є можливість зменшити код обробки і прискорити процес виконання обробки на верстаті MDX 40A. В той же час код проведення обробки порожнини наведений на рис. 4.5.

Аналогічний підхід до процесу автоматизованої генерації кодів обробки деталей на верстатах з ЧПК використовувався для HAAS VM3. Метод полягає у проєктуванні простих моделей з метою подальшої перевірки ефективності процесу автоматизації. Дослідники відмічають, що коди, які генеруються в програмному забезпеченні CATIA V5 є занадто довгими і у оператора відсутня можливість проводити їх подальшу модифікацію [1]. У роботі розглядається процес скорочення генерації кодів завдяки виклику підпрограм в межах основної програми. В результаті у оператора спрощує сприйняття коду і покращується побудова зв'язків параметрів геометрії деталі із параметрами коду обробки деталі.

Для створення зв'язку та параметризації моделі використовується VBA. Автоматизація в цьому прикладі реалізована таким чином, що при зміні розмірів параметризованої моделі деталі, значення відповідних параметрів завантажуються у VBA і автоматично генерується новий код для обробки на верстаті з ЧПК.

4.2 Загальні положення генерації ЧПК-кодів в CATIA V5

«Програмне забезпечення CATIA V5 відноситься до важких систем автоматизованого проєктування. В CATIA V5 реалізовано всебічний комплексний інтегрований підхід, що дозволяє успішно здійснювати в межах однієї системи весь цикл створення нового виробку – від етапу розробки концептуальних моделей до етапу підготовки керуючих програм для обробки на верстатах з ЧПК. У ПЗ CATIA V5 наявні модулі для створення програм на

верстатах з ЧПК. Використання таких модулів дають можливість створювати програми обробки для 2,5-, 3-, 4-, 5-осьової токарної та фрезерної обробки [14].

Ряд науковців проводили дослідження точності та ефективності використання автоматично створених у САТІА V5 кодів для проведення обробки деталей на верстатах з ЧПК» [1, 2, 3, 23].

Оскільки при токарній обробці обертається заготовка, яка закріплена у шпинделі, то швидкість обертання заготовки S дорівнює частоті обертання шпинделя n . Формула розрахунку частоти обертання шпинделю наступна:

$$n = \frac{1000 \cdot V_S}{D \cdot 3,142}, \quad (4.1)$$

де n – частота обертання шпинделю, об/хв.;

V_S – швидкість різання, м/хв.;

D – діаметр ріжучого інструменту.

Значення частоти обертання шпинделю та подачі змінюються в залежності від матеріалу заготовки, для якої проводиться процес обробки. Ці значення отримує оператор з ЧПК. Залежно від вимог обробки та технічного завдання ці значення можна змінювати під час симуляції процесу обробки.

Загальна процедура генерації кодів для верстатів з ЧПК у програмному забезпеченні САТІА V5 складається з декількох кроків. Використання цього методу в рамках поставлених у дипломній роботі задач представляє собою реалізацію ручного методу. Створити код обробки деталі у САТІА V5 можна шляхом використання вбудованої функції інтерактивно згенерувати ЧПК-код.

На першому етапі такої генерації кодів необхідно провести створення моделі. Модель деталі створюється в режимі конструювання деталей, як це показано на рис. 4.6.

На другому етапі, після того, як модель вже спроектована, із зовнішніх граней моделі вставляється корпус. Глибина корпусу дорівнює загальній висоті моделі. Для генерації коду обробки в Catia V5 обирається функція розширеної

обробки (рис. 4.7). Після вибору розширеної обробки необхідно обрати операцію деталі. В результаті відкриється нове діалогове вікно (рис. 4.8).

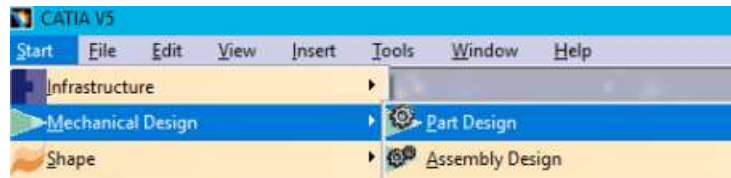


Рисунок 4.6 – Створення моделі в САТІА V5

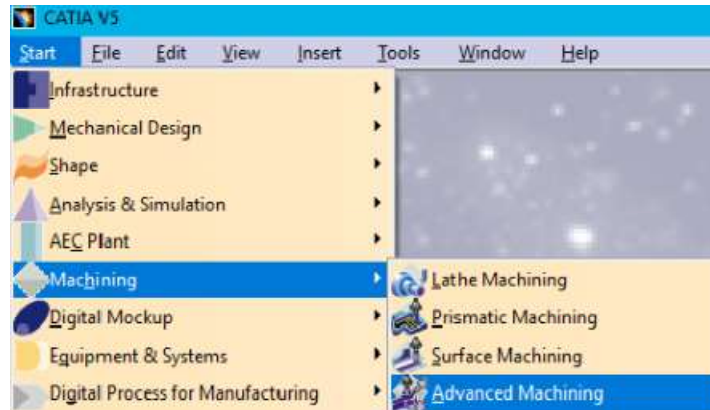


Рисунок 4.7 – Вибір процесу розширеної обробки деталі

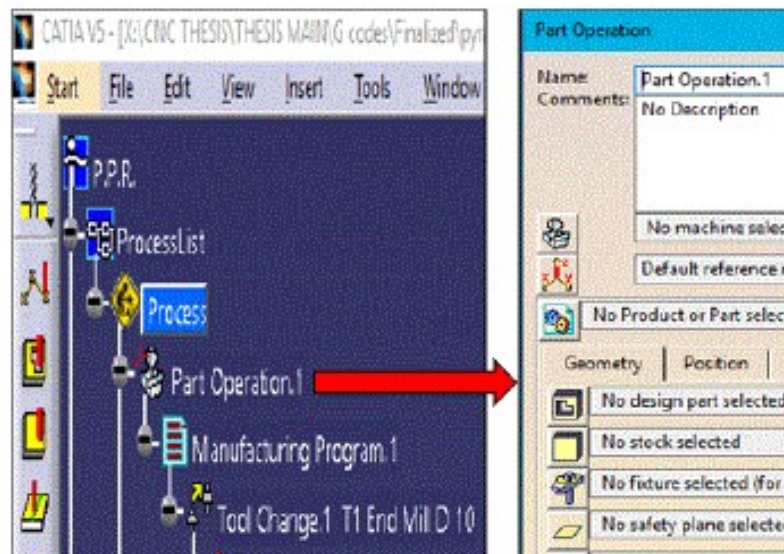


Рисунок 4.8 - Діалогове вікно роботи з деталлю

В цьому діалоговому вікні необхідно обрати вісь інструменту. Також тут змінюється ріжуча кромка і допуски. З дерева процесу (рис. 4.8) необхідно

обрати елементи, які позначені цифрами 1, 2 та 3, що означають відповідно корпус деталі, корпус, який вставляється та вибір площини безпеки для обробки. Останній елемент означає, що ріжучий інструмент буде проводити обробку деталі по всім площинам, окрім обраної площини безпеки.

Після проведеного вибору необхідно обрати інструмент за допомогою відповідної опції. Після натискання на встановлення інструменту відкривається відповідне діалогове вікно роботи із інструментом (рис. 4.9). Відповідно до вимог, які встановлюються користувачем у діалоговому вікні зміни інструменту, у програмі відбувається зміна довжини інструменту, діаметру та радіусу вершини.

Після внесення відповідних змін параметрів інструменту проводиться вибір процесу обробки, а саме торцювання, чорнова обробка, розточування, тощо. При виборі чорнкової обробки відкривається відповідне діалогове вікно (рис. 4.10, б).

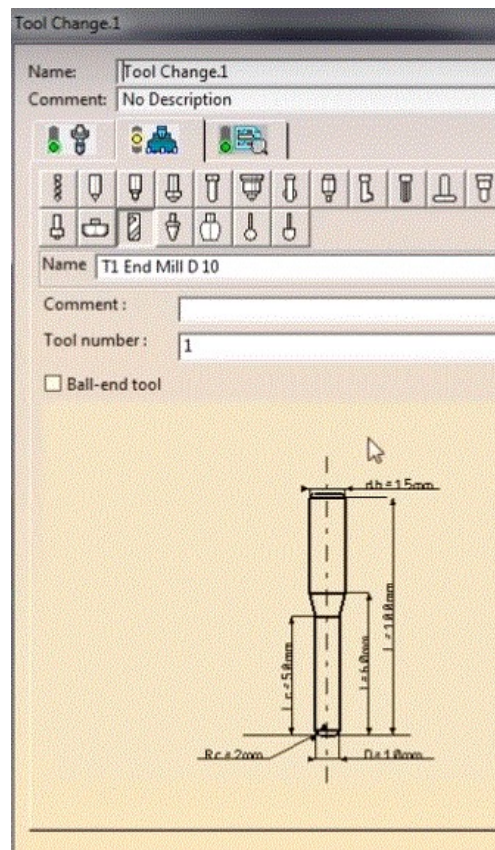


Рисунок 4.9 – Діалогове вікно зміни інструменту

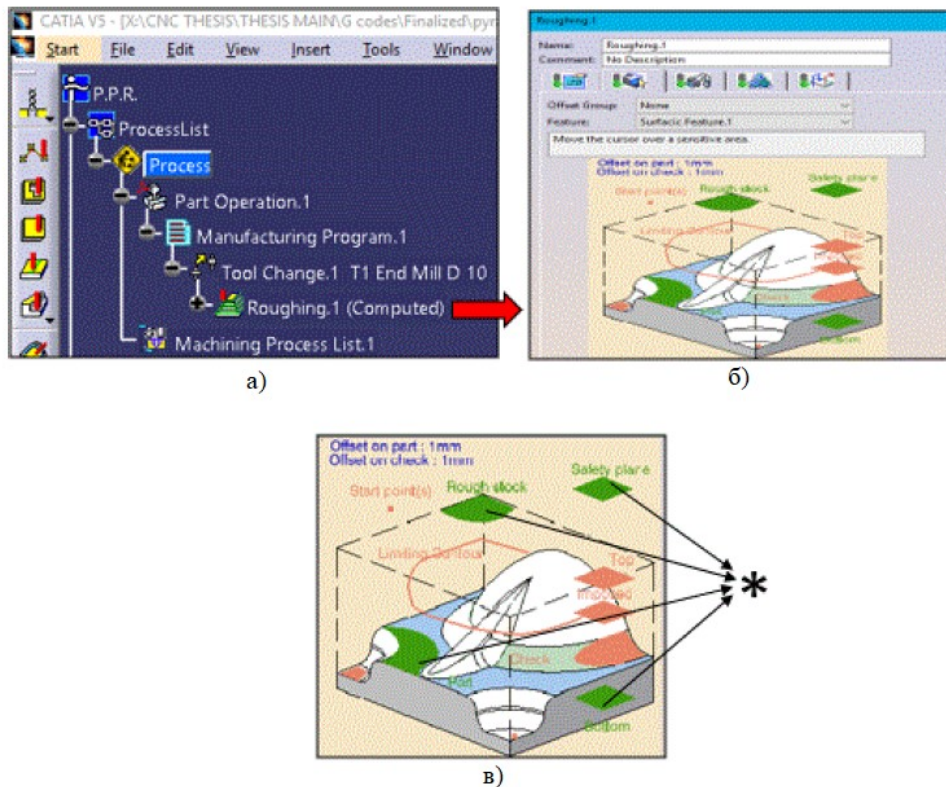


Рисунок 4.10 - Діалогове вікно чорнової обробки деталі

На рис. 4.10, в знак зірочки («*») означає вибір доступних з дерева обробки опцій. Саме дерево показано на рис. 4.10, а. Після вибору таких параметрів, як площина дна, площина безпеки, корпус деталі, тощо, необхідно обрати опцію відтворення траєкторії інструменту (рис. 4.10, а) шляхом натискання на процес чорнової обробки. Завдяки цьому ПЗ проведе перевірку траєкторії руху ріжучого інструменту, яка планується для виконання процесу обробки деталі.

На наступному кроці необхідно запустити в CATIA V5 виробничу програму і обрати опцію відтворення траєкторії інструменту. На цьому етапі виконується процес чорнового оброблення деталі. Чистова обробка деталі проводиться шляхом вибору нового процесу обробки, наприклад облицювання. Після такого вибору для обробки моделі необхідно виконати ті ж самі кроки [1].

На наступному етапі необхідно обов'язково провести зміну налаштувань коду для верстату з ЧПК. Після зміни налаштувань з метою генерації коду для

верстату з ЧПК необхідно обрати відповідну функцію інтерактивної генерації коду у виробничій програмі (рис. 4.11).

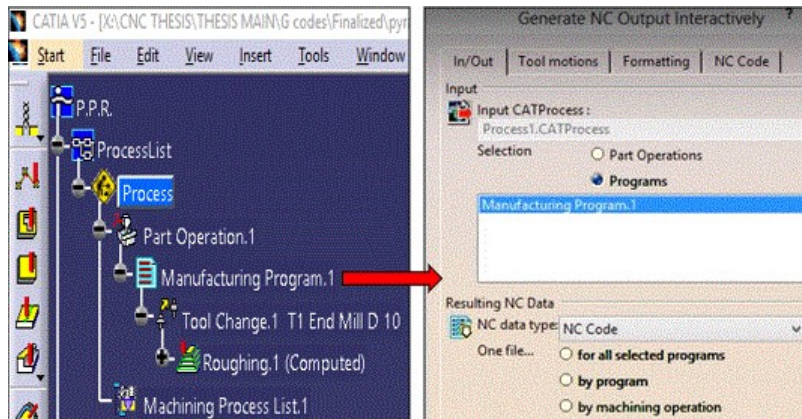


Рисунок 4.11 – Діалогове вікно інтерактивної генерації кодів для верстату з ЧПК

На цьому етапі у ПЗ проводиться автоматична генерація коду ЧПК, який потім зберігається у обраній теці. Ця процедура генерації коду у CATIA V5 представляє собою ручний метод.

Слід відзначити, що коди, згенеровані у програмному засобі CATIA V5 містять багато рядків коду, а також відсутня можливість їх подальшої зміни. Для отримання такої ж моделі з іншими розмірами необхідно провести процес моделювання з самого початку, що робить такий процес автоматичної генерації кодів для обробки деталей на верстатах з ЧПК занадто трудомістким та довготривалим.

4.3 Генерація кодів на верстаті Roland MDX 40A

В цьому розділі розглядається процес автоматичної генерації коду для оброблення деталі, зображеної на рис. 4.1 із розмірами, вказаними у підрозділі 4.1. Для проведення обробки зазначеної деталі слід притримуватись встановлених типових етапів, які були зазначені науковцями у роботах [1, 2, 3] та описані у підрозділі 4.2.

У роботі [1] розглядався процес оброблення корпусу із порожниною, в результаті чого за допомогою ПЗ CATIA V5 було згенеровано код для обробки

такої деталі на верстаті з ЧПК (рис. 4.13). Процес оброблення деталі показаний на рис. 4.12.

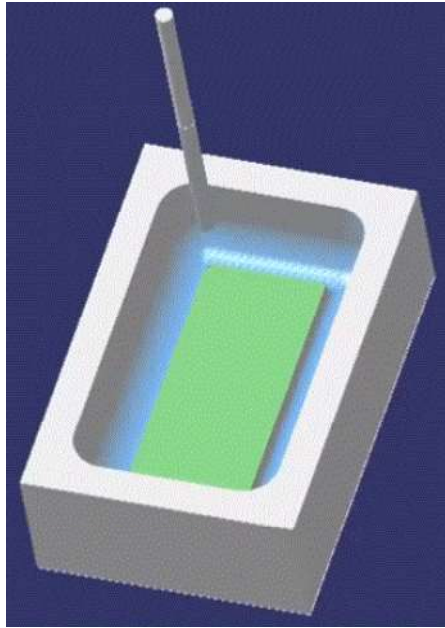


Рисунок 4.12 - Процес обробки моделі на MDX 40A

```
%  
O1000  
{  
.....  
}  
{ * INTELLIGENT MANUFACTORY SOFTWARE WWW.IMS-SOFTWARE.COM  
{ * IMSPOST VERSION : 8.1Q * )  
{ * USER VERSION : 1 * )  
{  
.....  
}  
N1 G49 G64 G17 G80 G0 G90 G40 G99  
( TOOL DATA : T1 END MILL D 1 )  
N2 T0001 M6  
( OPERATION : ROUGHING.2 )  
N3 X103.999 Y38.751 S70 M3  
N4 G43 Z10.01 H1  
N5 G1 G94 Z.01 F300.  
N6 Y20.053 Z-5.  
N7 Y59.905 F1000.  
N8 X103.989 Y60.301  
N9 X103.908 Y60.853  
N10 X103.751 Y61.388  
.....continued  
.....  
.....  
N2241 X85.  
N2242 Y35.  
N2243 X35.  
N2244 Y45.  
N2245 X59.69  
N2246 Y43.75  
N2247 Y42.5
```

Рисунок 4.13 – Код для оброблення корпусу із порожниною, згенерований у
CATIA V5

Як видно з рис. 4.13, код, згенерований у програмному середовищі Catia V5 дуже довгий і у оператора з ЧПК відсутня можливість проводити модифікацію такого коду. При чому слід відзначити, що відсутня можливість проводити як глобальні зміни коду, наприклад, зміну геометрії деталі, так і вносити незначні зміни, як наприклад зменшити глибину порожнини на 5 мм.

З рис. 4.13 видно, що рядок 1 позначений N1, тобто позначення N2254 відповідає 2254 рядку коду обробки деталі. Кожен із таких рядків містить в собі інформацію щодо переміщення ріжучого інструменту відносно осей *X* і *Y* при проведенні обробки деталі.

Для порівняння було використано ПЗ SRP pro, яке йде у базовому комплекті із верстатом Roland MDX 40A. У цьому ПЗ було згенеровано код обробки деталі, показаної на рис. 4.1 та 4.12. В результаті згенерований код процесу чорнової обробки показаний на рис. 4.14, а фінішної обробки тієї ж деталі – на рис. 4.15.

Z582,7496,1100;	Z-7536,-4048,20000;
V50.0;Z582,7496,1100;	Z-7536,-4048,520;
V15.0;Z582,7496,1000;	V15.0;Z-7536,-4048,
Z580,7496,1000;	Z-7536,-4048,290;
Z590,7496,999;	V7.5;Z-7536,-4048,-30;
Z580,7496,998;	V15.0;Z-7511,-4050,
Z590,7496,997;	Z-7487,-4050,-30;
Z580,7496,996;	Z7498,-4050,-30;
Z590,7496,995;	Z7523,-4049,-30;
Z580,7496,995;	Z7547,-4046,-30;
Z590,7496,994;	Z7571,-4041,-30;
Z580,7496,993;	Z7596,-4034,-30;
Z590,7496,992;	Z7607,-4030,-30;
Z580,7496,991;	Z7620,-4025,-30;
Z590,7496,990;	Z7645,-4013,-30;
Z580,7496,989;	Z7656,-4006,-30;
Z590,7496,988;	Z7669,-3998,-30;
Z580,7496,987;	
Z590,7496,987;	
Z580,7496,986;	
Z590,7496,985;	

рис. 4.17 коди оброблення деталі повторюються до тих пір, поки не буде досягнута задана глибина різання при обробці порожнини.

Порівнявши коди, які були автоматично згенеровані у програмному середовищі Catia V5 [1] та у програмному забезпеченні SRP про можна дійти до висновку, що внаслідок використання SRP про код оброблення деталі зменшився із 2254 рядків (Catia V5) до 67 рядків.

4.4 Порівняння ручного та автоматизованого методу генерування кодів при обробленні деталей різної геометрії

У цьому розділі розглядається процес автоматичної генерації коду оброблення деталей різної геометрії. В якості прикладу для генерації кодів обробки використовувались наступні моделі:

- 1) корпус з отвором (рис. 4.18, а);
- 2) порожнистий циліндр (рис. 4.18, б);
- 3) корпус з трьома отворами однакового радіусу (рис. 4.18, в);
- 4) корпус з трьома отворами різного радіусу (рис. 4.18, г);
- 5) піраміда (рис. 4.18, д).

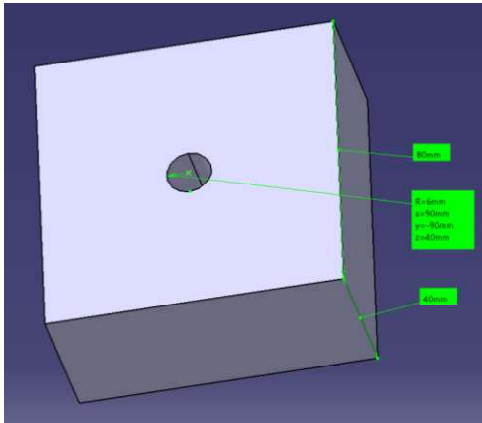
4.4.1 Корпус з отвором

«Основним недоліком генерації кодів ручним методом за допомогою САТІА V5 є те, що у випадку зміни будь-яких параметрів моделі або її розмірів, процес створення коду необхідно повністю проводити з першого до останнього етапу, тобто вибір поверхонь і площин, процес обробки, тощо. Іншим недоліком при генерації кодів з САТІА V5 є те, що ці коди достатньо довгі і містять від 300 до 2500 рядків.

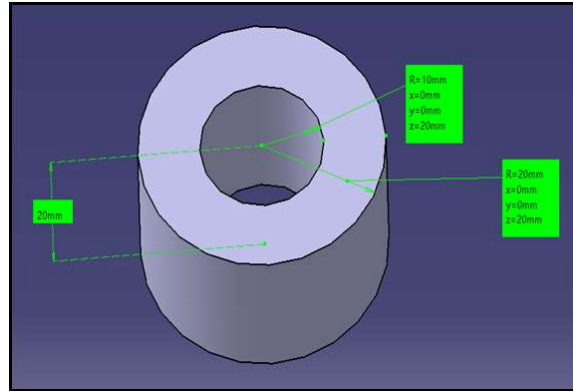
Для порівняння згенерованих кодів для корпусу із отвором, який показаний на рис. 4.18, а, спочатку виконувалась генерація коду обробки ручним методом у САТІА V5» [23]. Принцип такої генерації коду описаний в

розділі 4.2. В результаті, для моделі з рис. 4.18, а було згенеровано код її обробки (рис. 4.19).

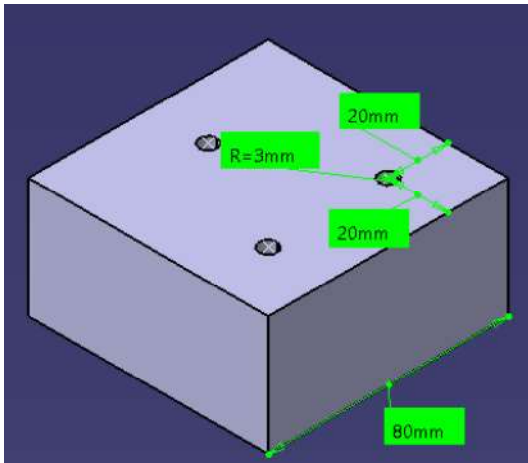
Як видно з рис. 4.19, для обробки такої простої деталі програмне забезпечення CATIA V5 формує 388 рядки коду. Тому на рис. 4.19 показано лише початок та кінець програми обробки деталі.



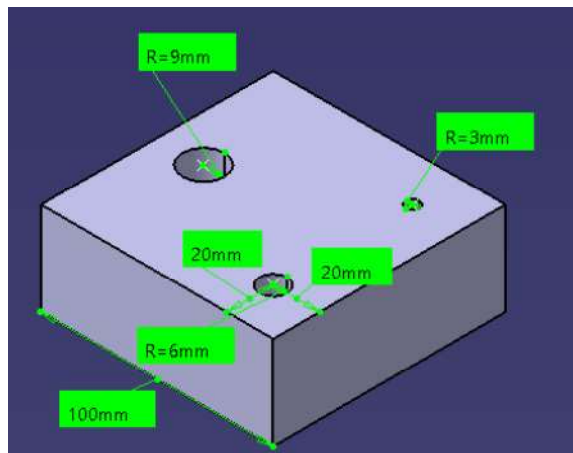
а)



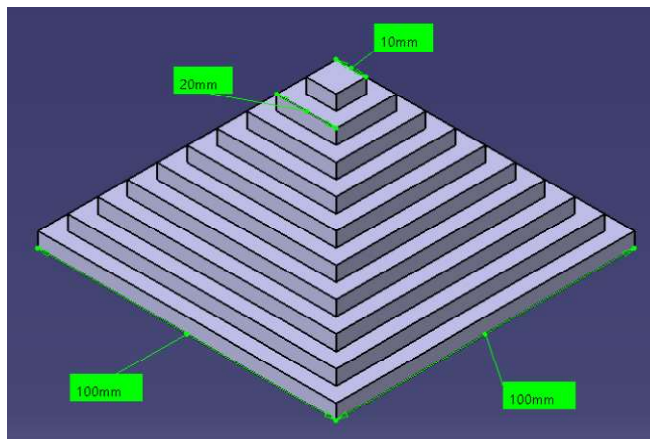
б)



в)



г)



д)

Рисунок 4.18 – Моделі деталей, процес обробки яких розглядається в роботі

Після проектування деталі в Catia на першому етапі автоматизованого методу генерації кодів необхідно мати проєктні розміри, переміщення інструменту та його розмір, швидкість та положення інструменту, тощо. Напрямки переміщення інструменту по осям X та Y, а також подача і швидкість задаються за допомогою змінних. Ці змінні також використовуються для задання параметрів в Catia V5, а в автоматизованому методі такі змінні викликаються в скрипті VBA.

```
%  
O1000  
(  
*****  
)  
(* INTELLIGENT MANUFACTORY SOFTWARE WWW.IMS-SOFTWARE  
(* IMSPOST VERSION : 8.1Q *)  
(* USER VERSION : 1 *)  
(  
*****  
)  
N1 G49 G64 G17 G80 G0 G90 G40 G99  
(TOOL DATA : T1 END MILL D 1 )  
N2 T0001 M6  
(OPERATION : ROUGHING.1 )  
N3 X39.067 Y-41.753 S70 M3  
N4 G43 Z10.01 H1  
N5 G1 G94 Z.01 F300.  
N6 X38.854 Y-41.635 Z-.055  
N7 X38.597 Y-41.425 Z-.144  
N8 X38.346 Y-41.124 Z-.249  
N9 X38.158 Y-40.779 Z-.354  
N10 X38.041 Y-40.405 Z-.459  
...continued  
...  
...  
N382 X39.221 Y-38.158
```

Рисунок 4.19 – Код обробки корпусу із отвором, згенерований в Catia V5

«Першим кроком автоматичної генерації коду обробку деталі є створення параметрів та прив'язка параметрів, які використовуються в Catia V5 і VB

скрипті до геометрії деталі» [23]. Параметри деталі, показаної на рис. 4.18, а у програмі Catia V5 показані на рис. 4.20 і наведені нижче:

- ширина корпусу – 80 мм;
- довжина корпусу – 80 мм;
- діаметр отвору – 6 мм;
- глибина отвору – 30 мм;
- висота корпусу – 40 мм.

На рис. 4.21 та 4.22 видно, що параметри X2, Y2, X1, Y1 належать профілю корпусу, тоді як профілю отвору відповідають параметри X3 та Y3. Зазначені параметри необхідні для генерації коду обробки деталі.



Рисунок 4.20 – Параметри моделі корпусу із отвором

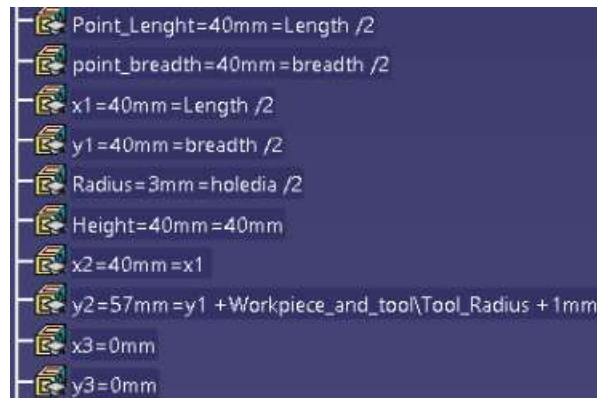


Рисунок 4.21 – Параметри, необхідні для генерації коду обробки деталі

```
x_2val = parameters1.Item("x2")  
y_2val = parameters1.Item("y2")  
x_1val = parameters1.Item("x1")  
y_1val = parameters1.Item("y1")  
x_3val = parameters1.Item("x3")
```

Рисунок 4.22 – Параметри обробки деталі у скрипті

Наприклад, параметри у скрипті VB, завдяки якому отримується значення координати по осі X з параметру X2 у Catia – це параметр x_2val. Якщо x2 має значення 40 мм, то з рядка "G01 X" і "-x_2val;" на екран обробки деталі виводиться код у вигляді G01 X-40. Тобто, значення координати по осі X отримується з параметра X2, який відповідно має значення 40 мм. Наявність від'ємного символу поблизу параметру означає зсув по осі X вліво від центральної точки. Інші параметри, які викликаються VB скриптом, отримуються значення із відповідних пов'язаних параметрів.

Корпус має габаритні розміри у 80 мм. Тобто для визначення параметрів по осям X та Y необхідно отримати значенні половини ширини та довжини корпусу. Це значенні відповідає розміру 40 мм. Такі значення можна отримати шляхом призначення цим параметрам відповідних формул, які пов'язані із габаритними розмірами корпусу.

Оскільки параметри X2, Y1 та X1 становлять 40 мм, то необхідні напрямки траєкторію руху інструменту задаються у програму обробки деталі шляхом додавання знаків «+» або «-» (рис. 4.23).

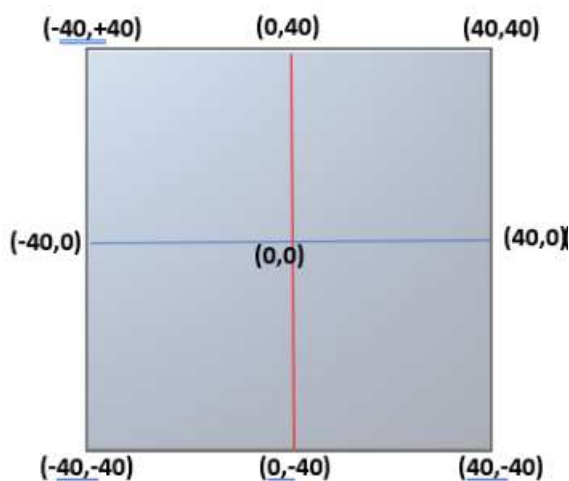


Рисунок 4.23 – Координати точок обробки корпусу без отвору

Базуючись на рис. 4.18, а, отвір знаходиться в центрі деталі, тому координати його обробки X3 і Y3 будуть обидва дорівнювати 0, тобто центр деталі збігається із початком координат. Параметр Y2 становитиме 57 мм. Це пояснюється тим, що при переміщенні інструменту по траєкторії в напрямку параметру Y2 слід враховувати допуск на радіус 16 мм + 1 мм (рис. 4.24).

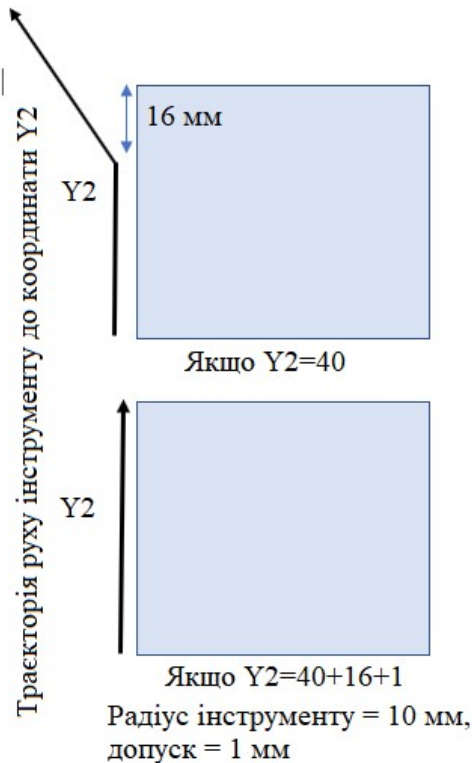


Рисунок 4.24 – Траєкторія руху інструменту при обробці отвору

На рис. 4.25 показано, чому значення Y2 становить 52 мм. Якщо проводити обробку деталі із значенням параметру Y2 у 40 мм, то інструмент відхилиться від зони обробки деталі на 16 мм ще до моменту досягнення необхідної точки. Це може відбуватись тому, що ріжучий інструмент автоматично враховує власний радіус і при обробці одразу виконує перехід у початкову точку обробки G54, яка знаходиться у 6 рядку на 4 кроці. Якщо додати значення радіусу ріжучого інструменту, то в результаті можна досягти точки із необхідними координатами.

Під час запуску програми код обробки деталі генерується автоматично, а сам процес автоматизованої генерації досягається шляхом зміни основних параметрів обробки (рис. 4.20). Така зміна викликає зміну всіх інших параметрів, які створюються для обробки деталі. Тобто, при зміні параметрів геометричної моделі деталі код її обробки буде генеруватись автоматично.

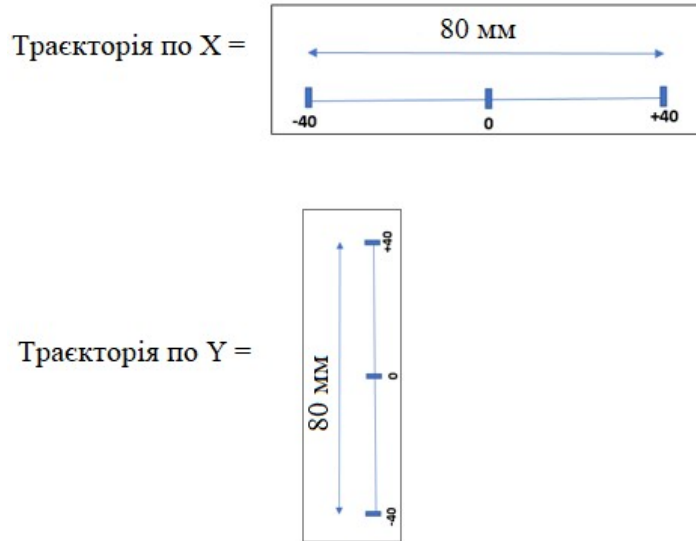


Рисунок 4.25 – Ілюстрація обробки довжини корпусу в напрямках X та Y

Другим етапом обробки деталі типу корпус з отвором є власне створення отвору [23]. З точки зору обробки на верстаті з ЧПК цей отвір можна створити за допомогою точки. Ця точка розміщується в центрі корпусу, співпадає із початковою точкою обробки деталі, а в CATIA V5 цій точці привласнюються параметри, які наведені на рис. 4.26.



Рисунок 4.26 - Параметри, створені для точки на отворі за формулою

У випадку необхідності провести зміни формули, яка пов'язана із параметрами точки, в програмі автоматично відбувається зміна параметрів точки у відповідності до вимог проєктування, тобто змінюється і положення

отвору. Параметри, які були створені для обробки отвору, привласнюються параметрам X3 і Y3. Таке привласнення базується на правилах з бази знань. На рис. 4.27 показано правило, яке застосовується для отвору в корпусі, що має назву pointl.

На рис. 4.27 видно, що параметр pointl створюється на певній відстані від вертикальної зовнішньої грані корпусу, яка на рисунку позначена як точка X. В той же час параметр pointhb створюється на заданій відстані від горизонтальної зовнішньої грані корпусу, яка відповідає точці Y. У випадку зміни у формулі відповідного параметру pointl отвір буде переміщуватись паралельно до довжини корпусу в напрямку осі X. Аналогічно, при зміні параметру pointb отвір буде змінювати своє положення паралельно ширині корпусу в напрямку осі Y.

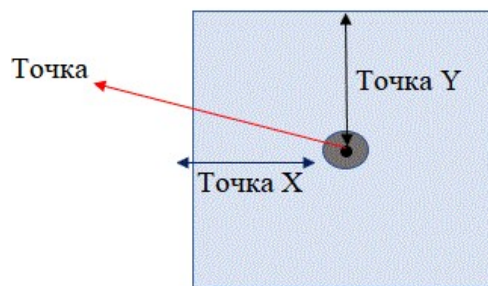


Рисунок 4.27 – Параметри точок отвору

Результатом роботи цього правила, створення якого показано на рис. 4.28, буде привласнення значень $Y3=0$ та $X3=0$ у тому випадку, якщо отвір знаходиться у центрі корпусу. При зміні формули, показаній на рис. 4.26, отвір буде змінювати своє положення відносно центру корпусу, а значення параметрів X3 та Y3 будуть змінюватись автоматично.

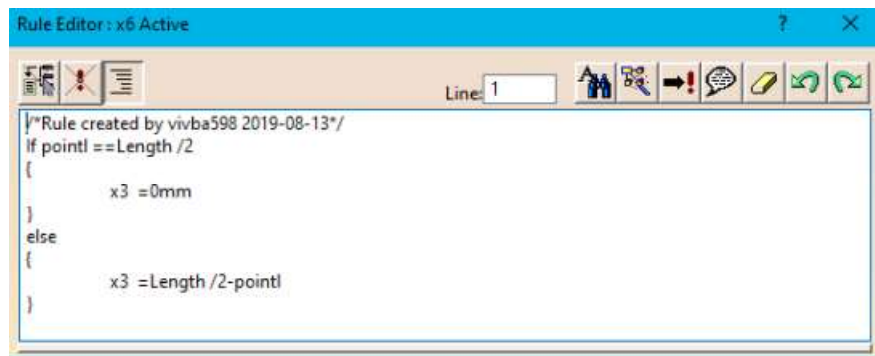


Рисунок 4.28 - Правило 1, призначене для параметра X3

Наприклад, якщо довжина корпусу становить 80 мм, а отвір переміщається вправо відносно центру корпусу. В такому випадку формула, зображена на рис. 4.26, змінить своє значення наступним чином:

$$point\ l = \frac{L}{3} = 26\ \text{мм}, \quad (4.2)$$

$$point\ hb = \frac{L}{3} = 40, \quad (4.3)$$

де L – довжина корпусу, мм.

Тоді координата Y3 не буде рівною 0, а X3 буде розраховуватись за формулою:

$$X3 = \frac{L}{2} - point\ l = \frac{80}{2} - 26 = 14\ \text{мм}. \quad (4.4)$$

Тобто, положення отвору по відношенню до центру корпусу зміститься вправо від центру на відстань 14 мм по координаті X. Таким чином, координати Y та X отримають наступний вигляд: Y3=0, X3=14 (рис. 4.29).

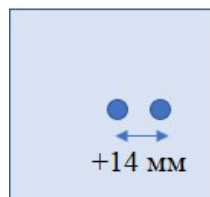


Рисунок 4.29 – Зміщення отвору на відстань

Третім етапом обробки деталі є встановлення інструменту та заготовки [23]. Для обробки деталі, яка зображена на рис. 4.18, а, використовувалась заготовка довжина і ширина якої становили 100 мм, а інструмент мав діаметр 32 мм.

Параметри "XW" і "yw" (рис. 4.30) створюються за допомогою формули, яка в свою чергу створює прив'язку довжини і ширини заготовки відповідно. Ці параметри для позиціонування інструмента в певній точці (рис. 4.31). З рис. 4.32 видно, що параметри yw_val і xw_val – це параметри, що викликаються VB скриптом для отримання відповідних значень параметрів yw та XW [23].

Точка А на рис. 4.31 представляє собою опорну / початкову точку положення інструменту на заготовці. Напрямки та значення параметрів X і Y обираються тоді, коли оператор обирає для себе початок координат руху інструменту. Для кожного рядка коду обробки деталі інструмент проводить операції обробки відносно цієї встановленої точки. Тобто траєкторія інструменту починається з точки А і після виконання операції інструмент повертається в положення, яке відповідає точці А. Після цього інструмент переходить до виконання наступної операції із коду обробки.

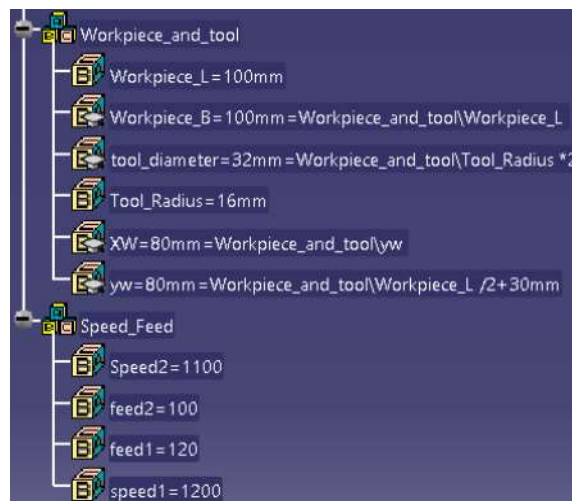


Рисунок 4.30 - Параметри для заготовки та інструменту

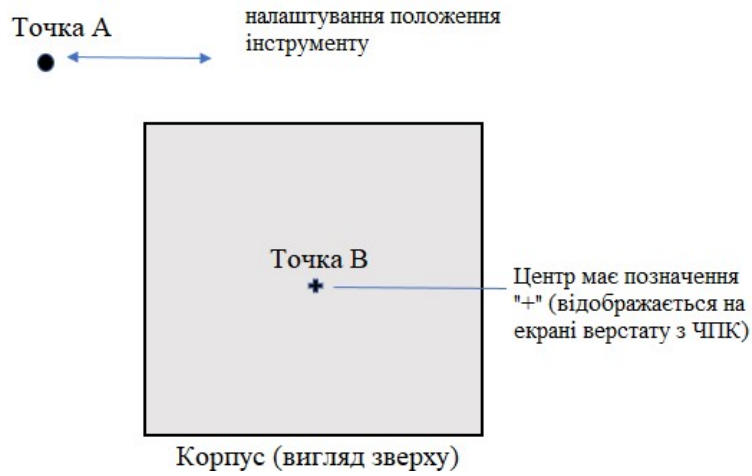


Рисунок 4.31 – Параметри позиціонування інструменту

```
xw_val = parameters1.Item("XW")
```

```
yw_val = parameters1.Item("YW")
```

Рисунок 4.32 – Параметри заготовки корпусу із отвором

Для порівняння ручного та автоматичного методу генерування кодів для обробки деталей на верстатах з ЧПК приклади цих кодів було зведено у табл. 4.1. Повний код обробки корпусу із отвором наведений в додатку А.1.

Таблиця 4.1 – Скрипт VBA для обробки деталі

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
1	%	Print #1, "%"
2	O00004 (CubeWithSingleHole)	Print #1, "O00004 (CubeWithSing"
3	G28 G91 Z0	Print #1, "G28 G91
4	G0 G40 G80 G90	Print #1, "G0 G40 G80
5	T14 M06	Print #1, "T14 T
6	G54 X-80 Y80 S1200 M3	Print #1, "G54 X" & -xw_val; "Y" & yw_ e 1val: "M3"
7	G43 Z3 H14 M88	Print #1, "G43 Z3 H14 T
8	G01 Z0. F120	Print #1, "G01 Z0. F" & f 1v

9	M97 P901 L16	Print #1, "M97 P901 I
10	M01	Print #1, "M0

«Команда Print #1 використовується для автоматичної генерації коду під час запуску програми» [23]. #1 означає вивід, який привласнюється кожному із рядків із командами обробки деталі. Розглянемо більш детально кожен із рядків.

«1. Знак % використовується на початку та в кінці програми обробки, оскільки він є обов'язковим елементом синтаксису програми обробки на верстаті з ЧПК. Відсутність цього знаку призведе до помилки.

2. Назва програми, яка починається з літери O, після якої вказуються цифри і назва моделі деталі.

3-4. Ініціалізація програми обробки за допомогою стандартних кодів, що є обов'язковими на всіх верстатах з ЧПК.

5. За конкретно обраний інструмент відповідає команда T14, а за зміну інструменту – команда M6.

6. G54 означає зміщення робочих координат, що при обробці деталі використовується встановлення початкової/опорної точки ріжучого інструменту на заготовці. Напрямки і значення параметрів X і Y обираються на основі бажаного положення початку траєкторії руху інструменту. Швидкість обертання шпинделя – S, запуск шпинделя – команда M3.

7. В цьому рядку вказується відстань інструменту від заготовки та подача ЗОР. Команда M88 відповідає за потік ЗОР через інструмент або всередині самого інструменту.

8. Запуск роботи інструменту.

9. Виклик підпрограми, позначення L16 відповідає за кількість циклів роботи інструменту для отримання спроектованого профілю корпусу. У випадку виклику підпрограми, процес обробки деталі переходить до рядка 23 (табл. 4.2).

23. Посилання на підпрограму, яка викликається рядком 9.

24. Значення Z задається як -2,5 мм, що означає рух вглибину. Кількість циклів обробки деталі вказується при виклику підпрограми (16 разів). Це

означає, що під час кожного циклу обробки деталі проводиться різання на глибину 2,5 мм.

На цьому етапі дуже важливо обрати оптимальне значення глибини різання, тобто значення Z з метою зменшення ризику пошкодження інструменту. Виробники інструменту рекомендують використовувати значення, яке лежить в межах від 2 до 3 мм. Враховуючи, що необхідна висота корпусу становить 40 мм, кількість циклів виконання підпрограми обиралась значенням, яке буде кратне Z ($16 \times 2,5 = 40$ мм). Рядки коду з 26 по 30 застосовуються для виконання операцій над заготовкою для отримання корпусу і видалення зайвого матеріалу в заготовці.

Таблиця 4.2 – Скрипт VBA для роботи підпрограми

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
23	N901	Print #1, "N901"
24	G91 Z-2.5 F120 M08	Print #1, "G91 Z-2.5 F" & f_1val;
25	G90	Print #1, "G90"
26	G01 G41 X-80 Y40 D14	Print #1, "G01 G41 X" & -xw val; " Y" & y_1v
27	G01 X40	Print #1, "G01 X" & x_1v
28	G01 Y-40	Print #1, "G01 Y" & -y_1v
29	G01 X-40	Print #1, "G01 X" & -x_2v
30	G01 Y57	Print #1, "G01 Y" & y_2v
31	G01 G40 X-80 Y80	Print #1, "G01 G40 X" & -xw val; " Y" & y_1v
32	M99	Print #1, "M99"

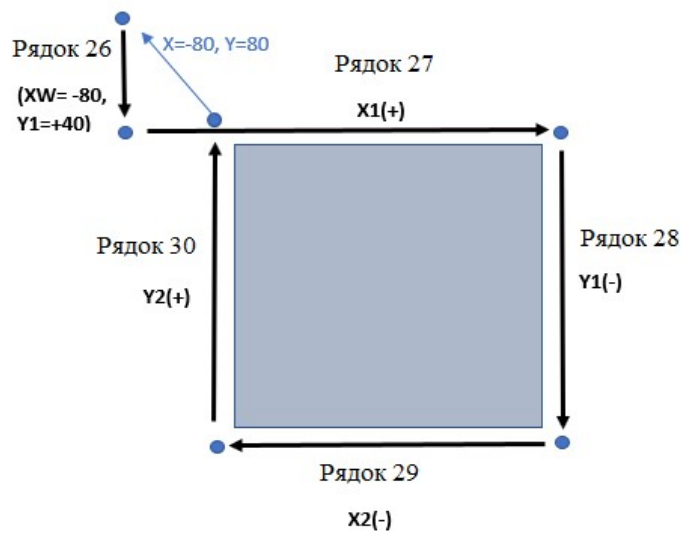


Рисунок 4.32 – Траєкторія руху інструменту

Значення D застосовується для визначення діаметру інструменту. На початку обробки інструмент позиціонується в точці із координатами $Y=+80$ та $X=-80$ на відстані від заготовки (рис. 4.32)» [23].

«Після обробки корпусу рядок коду під номером 32 відповідає за закінчення підпрограми і програма переходить до зчитування рядку під номером 10. Цей рядок застосовується для зупинки виконання підпрограми після завершення циклу зазначених в ній операцій по обробці деталі. Рядок 11 (табл. 4.3), в свою чергу, вимикає подачу ЗОР через ріжучий інструмент» [23].

Таблиця 4.3 – Скрипт VBA для обробки отвору у корпусі

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
11	M89	Print #1, "M8
12	G28 G91 Z0	Print #1, "G28 G91
13	G00 G40 G80 G90	Print #1, "G0 G40 G80
14	T6 M6	Print #1, "T6 M
15	G54 X0. Y0. S1100 M03	Print #1, "G54 X" & x_3val; " Y" & y_3v & z_val; " M3"
16	G43 Z3. H06	Print #1, "G43 Z3 l
17	M08	Print #1, "M0
18	G83 Z-30. R3. Q5. F100	Print #1, "G83 Z" & -D_val; " R" & h_rad; & f_val; ""
19	G80 M9	Print #1, "G80 l
20	G28 G91 Z0	Print #1, "G28 G91
21	G28 G91 Y0	Print #1, "G28 G91 "
22	M30	Print #1, "M3

«У 14 рядку для обробки отвору у корпусі обирається інструмент. 15 рядок відповідає за установку інструменту в центрі.

За сам процес свердлування отвору відповідають команди у 18 рядку. В цьому рядку коду зазначається, що радіус отвору становить 3 мм, а глибина – 30 мм. Показник Q застосовується для зазначення кількості циклів свердлування. Зупинка процесу свердлування забезпечується командами, які вказані у рядку 19 (табл. 4.3).

Рядки 20 і 21 застосовуються наприкінці програми для відведення інструменту від заготовки після завершення процесу обробки деталі. Кінець програми зазначений у рядку 22» [23].

Після проведення аналізу щодо генерації кодів для деталі типу корпус із отвором ручним та автоматизованим методом, можна відмітити наступні положення:

- при однаковому кінцевому результаті обробки деталі, код за ручним методом містить 388 рядків, а автоматично згенерований код має лише 32 рядки;
- скорочення коду в автоматизованому методі досягається шляхом використання підпрограм;
- автоматизований метод має більшу гнучкість у порівнянні із ручним методом до змін розмірів моделі. Тобто при зміні розмірів моделі у програмі, згенерований код змінюється автоматично без втручання оператора;
- ручний метод потребує більше часу.

4.4.2 Порожнистий циліндр

Геометрична модель порожнистого циліндру була розроблена у програмному комплексі CATIA V5 та показана на рис. 4.18, б. Аналогічно до випадку із корпусом з отвором, в розділі розглядається ефективність автоматично згенерованих кодів обробки деталі у порівнянні із ручним методом.

Код обробки деталі ручним методом наведений на рис. 4.33. Як видно з рис. 4.33, згенерований у САТІА V5 код містить 267 рядків. При наявності такої кількості рядків коду оператору з ЧПК візуально важко оцінити переміщення ріжучого інструменту по осях координат.

```

%
O1000
(
*****
)
( * INTELLIGENT MANUFACTORY SOFTWARE WWW.IMS-SOFTWARE.COM * )
( * IMSPOST VERSION : 8.1Q * )
( * USER VERSION : 1 * )
(
*****
)
N1 G49 G64 G17 G80 G0 G90 G40 G99
( TOOL DATA : T1 END MILL D 1 )
N2 T0001 M6
( OPERATION : ROUGHING.1 )
N3 X-3.541 Y-1.854 S70 M3
N4 G43 Z10.01 H1
N5 G1 G94 Z.01 F300.
N6 X-3.275 Y-2.296 Z-.128
N7 X-2.924 Y-2.73 Z-.278
N8 X-2.516 Y-3.11 Z-.427
N9 X-2.058 Y-3.43 Z-.577
N10 X-1.561 Y-3.683 Z-.726
....continued

N259 X-1.941 Y3.497
N260 X-1.435 Y3.734
N261 X-.902 Y3.897
N262 X-.351 Y3.985
N263 X-.169 Y3.994
N264 X.003
N265 Z-10.
N266 G0 Z0
N267 M30
%
```

Рисунок 4.33 – Код обробки порожнистого циліндру, згенерований у Catia V5

Для порівняння ручного та автоматизованого методу обробки деталі типу порожнистий циліндр на першому етапі було проведено прив'язку параметрів в Catia і VB скрипту до геометрії деталі. В Catia задаються параметри внутрішнього і зовнішнього радіусу, а також глибина отвору, які потім викликаються в VB скрипті. За прикладом, що розглядається, внутрішній радіус відповідає половині розміру зовнішнього радіусу і пов'язується з останнім за

допомогою формули. Наведені параметри напряму залежать від геометрії деталі, внаслідок чого розміри циліндру можуть змінюватись шляхом зміни цих параметрів (рис. 4.34).

У скрипті обробки деталі викликаються ті самі параметри, що створюються в Catia V5, а саме: зовнішній радіус, внутрішній радіус, глибина отвору. Це показано на рис. 4.35.



Рисунок 4.34 - Конструктивні параметри порожнистого циліндра

```
Z_val = parameters1.Item("Hole_depth").V  
  
rad_inner_val = parameters1.Item("Radius_Inner").  
rad_outer_val = parameters1.Item("Radius_Outer").
```

Рисунок 4.35 – Зв'язок параметрів у Catia V5 та скрипті автоматизованої обробки деталі

На другому етапі необхідно провести створення параметрів, які в подальшому будуть застосовуватись для генерування коду обробки деталі. Для отвору порожнистого циліндру, який відповідає внутрішньому радіусу, параметри будуть наступними:

- розміщення отвору відповідає центру циліндру, тобто координати по осям X та Y дорівнюють 0;
- задана назва параметрів x_start та y_start.

Параметри, створені в Catia V5 показані на рис. 4.36, а параметри, що викликаються у VB скрипті зображені на рис. 4.37.

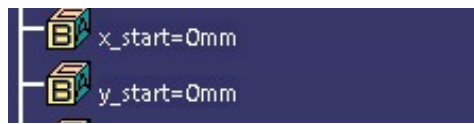


Рисунок 4.36 – Налаштування параметрів інструменту

```
x_start_val = parameters1.Item("x_start").Value  
y_start_val = parameters1.Item("y_start").Value
```

Рисунок 4.37 – Параметри порожнистого циліндру у VB скрипті

Параметри обробки внутрішнього отвору порожнистого циліндру створюються на основі аналізу траєкторії руху ріжучого інструменту, а також його характеристик. Ці параметри інструменту показані на рис. 4.38. В свою чергу, параметри інструменту викликаються у скрипті обробки деталі (рис. 4.39).



Рисунок 4.38 – Налаштування параметрів обробки деталі

```
x_lval = parameters1.Item("X1").Value  
y_lval = parameters1.Item("Y1").Value  
x_2val = parameters1.Item("X2").Value  
y_2val = parameters1.Item("Y2").Value  
x_3val = parameters1.Item("X3").Value  
y_3val = parameters1.Item("Y3").Value  
I_in_val = parameters1.Item("I_inner").Value  
J_in_val = parameters1.Item("J_inner").Value  
x_4val = parameters1.Item("X4").Value  
y_4val = parameters1.Item("Y4").Value
```

Рисунок 4.39 – Параметри інструменту у скрипті

В цьому алгоритмі обробки деталі типу порожнистий циліндр застосовується кругова інтерполяція з метою досягнення руху фрези від поточної точки до заданої точки обробки деталі вздовж напрямку проти годинникової стрілки, за що відповідає параметр G03, або у зворотному напрямку, тобто за годинниковою стрілкою, за що відповідає параметр G02.

Крім заданої точки для проведення обробки також необхідно знати положення центру дуги або її радіус. На рис. 4.38 та 4.39 параметри центру дуги позначені I, J і K. При цьому I відповідає осі X, а J відповідає відстані по осі Y.

На рис. 4.38 видно, що параметр X1 задано формулою як:

$$X1 = Radius_{Inner} - 1 \text{ мм} = 10 - 1 = 9 \text{ мм}, \quad (4.4)$$

де $Radius_{Inner}$ – внутрішній радіус порожнистого циліндра, мм.

Це пояснюється тим, що якщо внутрішній радіус порожнистого циліндра становить 10 мм, то для обробки такого радіусу необхідно мати допуск в 1 мм. Аналогічним чином параметр Y1 відповідає формулі:

$$Y1 = y_{start} + 1 = 0 + 1 = 1 \text{ мм}. \quad (4.5)$$

Аналогічно до внутрішнього радіуса порожнистого циліндра, зовнішній радіус розміром 20 мм буде мати ті ж самі типи параметрів, які в подальшому використовуються для генерації коду обробки деталі. Тобто, параметр I відповідає зміщенням вздовж осі X, а параметр J – зміщенням вздовж осі Y. Початковою точкою для зовнішнього радіусу буде точка із координатами X=0 і Y=30 (рис. 4.40). Всі перераховані параметри, створені в САТІА V5, викликаються у VB скрипті.

При моделюванні всіх моделей, які розглядаються у роботі і показані на рис. 4.18, у всіх моделей уде спільний крок. На цьому кроці шаблон коду обробки, що містить параметри, що викликаються, записуються у відповідному форматі, а вихідні дані для обробки генеруються шляхом створення відповідного файлу. У табл. 4.4 показані рядки коду обробки порожнистого

циліндру у скрипті VB. Повний код обробки порожнистого циліндру наведений у додатку А.2.



Рисунок 4.40 - Налаштування параметрів для обробки циліндра

Таблиця 4.4 – Скрипт VBA для обробки порожнистого циліндру

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
1	2	3
4	G28 G91 Z0	Print #1, "G28 G91"
5	G00 G40 G80 G90	Print #1, "G0 G40 G80 G90"
6	T6 M06	Print #1, "T6 M6"
7	G54 X0. Y0. S1100 M03	Print #1, "G54 X" & x_start_val; " Y" & y_start_val; " M3"
8	G43 Z3. H06	Print #1, "G43 Z3 H6 "
9	M08	Print #1, "M08"
10	G83 Z-20. R3. Q5. F100	Print #1, "G83 Z" & -Z_val; " R" & rad_drill; " C f 1val: ""
11	G80 M09	Print #1, "G80 M9"

12	G28 G91 Z0	Print #1, "G28 G91 Z0"
13	G00 G40 G80 G90	Print #1, "G0 G40 G80 G90"

Продовження таблиці 4.4.

1	2	3
14	T3 M06	Print #1, "T3 M6"
15	G54 X0 Y0 S4000 M03	Print #1, "G54 X" & x_start_val; " Y" & y_start_val; " M3"
16	G43 Z3. H03 M08	Print #1, "G43 Z3 H3 M08 "
17	G01 Z0 F100	Print #1, "G01 Z0 F" & f_1val; ""
18	M97 P901 L5	Print #1, "M97 P901 L5"
19	M01	Print #1, "M01"

У рядку 6 прописані команди вибору інструменту для свердлування. В наступному рядку застосовується команда зсуву робочих координат для того, щоб створити початок координат траєкторії руху інструменту.

За допомогою команди у 10 рядку виконується власне процес свердлування отвору радіусом 3 мм. Не дивлячись на те, що внутрішній радіус становить 10 мм, з метою спрощення обробки і отримання більшої точності обробки, отвір висвердлюється по центру деталі із меншим радіусом (рис. 4.41), після чого виконується обробка для досягнення бажаного радіусу.



Рисунок 4.41 – Операція свердлування (вид зверху)

У рядку 14 вказані команди для зміни ріжучого інструменту при обробці внутрішнього радіусу циліндра. Розмір інструменту обирається на основі вимог до проектування.

У 15 рядку коду також використовується команда зсуву робочих координат з метою створення початкової точки траєкторії руху ріжучого інструменту. У 18 рядку відбувається виклик підпрограми і задається кількість циклів проведення обробки деталі, який становить 5 разів (L5). Тобто з 18 рядка коду верстат переходить до виконання 33 рядка (табл. 4.5).

У рядку 33 (табл. 4.5) наявне позначення початку підпрограми (N901), на яку код обробки деталі переходить із рядка 18. У наступному рядку G91 відповідає інкрементній позиції, що означає глибину різання на кожному циклі 4 мм. Оскільки кількість циклів становить 5, а глибина на кожному циклі становить 4 мм, то загальна глибина різання складає 20 мм.

Таблиця 4.5 – Підпрограма обробки порожнистого циліндру

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
33	N901	Print #1, "N901"
34	G91 Z-4. F200	Print #1, "G91 Z-4 F" & f_2val; ""
35	G90	Print #1, "G90"
36	G01 G41 X9. Y1. D03	Print #1, "G01 G41 X" & x_1val; " Y" & y_1val; " D3"
37	G03 X0 Y10. R9	Print #1, "G03 X" & x_2val; " Y" & y_2val; " R" & r1_val; ""
38	G03 X0 Y10. I0 J-10.	Print #1, "G03 X" & x_3val; " Y" & y_3val; " I" & I_in_val; ""
39	G03 X-9. Y1. R9.	Print #1, "G03 X" & -x_4val; " Y" & y_4val; " R" & r1_val; ""
40	G01 G40 X0 Y0	Print #1, "G03 G40 X" & x_start_val; " Y" & y_start_val; ""
41	M99	Print #1, "M99"

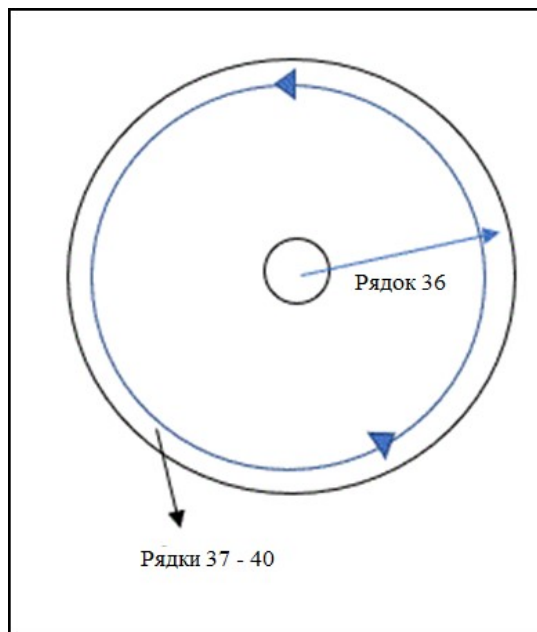


Рисунок 4.42 - Вид на роботу інструмента всередині циліндра

Процес обробки отвору показано на рис. 4.42. З рядка 37 по 39 введені команди, які відповідають за проведення обробки в порожнині циліндра за годинниковою стрілкою (G03). У рядку 40 вписані команди, які відбувають за те, що після закінчення обробки інструмент повертається в початкову точку, яка була створена відповідними командами у рядку 15. Рядок 41 символізує кінець підпрограми.

Після закінчення підпрограми, верстат переходить до зчитування кодів, які наведені у табл. 4.6. Рядок 23 відповідає за зміну ріжучого інструменту, який використовується для обробки зовнішньої частини циліндру та видалення матеріалу в заготовці. Встановлення початкової точки роботи ріжучого інструменту над заготовкою для проведення процесу обробки зовнішньої частини циліндра зазначено у рядку 24.

У рядку 27 викликається друга підпрограма, кількість циклів роботи також становить 5. Верстат з ЧПК переходить до виконання рядка 42, в якому наведена друга підпрограма (табл. 4.7). Рядок 43 схожий на рядок 34. Процес обробки від рядка коду під номером 45 до рядка під номером 49 показаний на рис. 4.43.

Таблиця 4.6 – Команди обробки зовнішніх сторін порожнистого циліндру

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
23	T17 M06	Print #1, "T17 M6"
24	G54 X0 Y30. S3500 M03	Print #1, "G54 X" & x_out_val; " Y" & y_out_val; " S M3"
25	G43 Z3. H17	Print #1, "G43 Z3 H17 "
26	G01 Z0 F100.	Print #1, "G01 Z0 F" & f_1val; ""
27	M97 P902 L5	Print #1, "M97 P902 L5"
28	M01	Print #1, "M01"

Таблиця 4.7 – Друга підпрограма обробки порожнистого циліндру

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
42	N902	Print #1, "N902"
43	G91 Z-4. F200	Print #1, "G91 Z-4 F" & f_2val; ""
44	G90	Print #1, "G90"
45	G01 G41 X-10. Y30. D17	Print #1, "G01 G41 X" & -x_5val; " Y" & y_5val; " D17"
46	G03 X0 Y20. R10.	Print #1, "G03 X" & x_6val; " Y" & y_6val; " R" & r2_val; ""
47	G02 X0 Y20. I0 J- 20.	Print #1, "G02 X" & x_7val; " Y" & y_7val; " I" & I_Out val: ""
48	G03 X10. Y30. R10.	Print #1, "G03 X" & x_8val; " Y" & y_8val; " R" & r2_val; ""
49	G01 G40 X0 Y30.	Print #1, "G01 G40 X" & x_out_val; " Y" & y_out_val; ""
50	M99	Print #1, "M99"

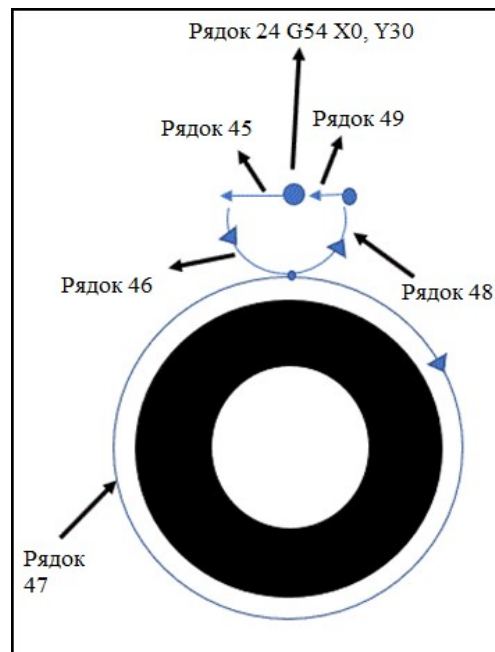


Рисунок 4.43 – Робота другої підпрограми при обробці порожнистого циліндру

У рядках 46 і 48 наявні команди, які задають рух ріжучого інструменту проти годинникової стрілки. У рядку 47 прописана обробка за межами габаритних розмірів циліндра. Рядок 50 відповідає за закінчення підпрограми.

Після проведення обробки порожнистого циліндру, команди G80 M09 визначають кінець програми обробки та вимикання подачі ЗОР, а верстат завершує всі операції і переходить в положення G28 G91 Z0, G28 G91 Y0.

При обробці порожнистого циліндру ручним методом у програмі міститься 267 рядків коду, в той час як в автоматизованому методі код обробки зменшився до 50 рядків.

4.4.3 Корпус із отворами однакового радіусу

Наступна геометрична модель, яка розглядається в роботі, представляє собою корпус із отворами однакового радіусу (рис. 4.18, в). Довжина і ширина корпусу становлять відповідно по 100 мм, кількість отворів – 3, радіус отворів – 3 мм. Відстані від отворів до бічних граней становлять 20 мм.

Для цієї моделі розглядається два варіанти положення отворів. В першому варіанті центрам отворів та їх параметрам в ручному та автоматизованому

методах привласнюються значення, яке не пов'язано із формулами. Тобто отвори фіксуються на певній відстані від зовнішніх граней корпусу.

В другому варіанті параметри центрів отвору пов'язуються із загальними габаритними розмірами корпусу відповідними формулами (подібно до моделі корпусу із отвором, див. 4.4.1). Отже, коли формула змінюється, отвір так само змінює своє положення відносно бічних граней корпусу. Для другого варіанту розміщення отворів використовувався корпус із довжиною і шириною 80 мм.

Модель з фіксованим положенням отворів.

Для корпусу створювались та прив'язувались параметри геометрії, які показані на рис. 4.44. Для цих параметрів формули не застосовувались.

Розглянемо заготовку кубічної форми висотою 50 мм, ширина і довжина якої складають 120 мм. На рис. 4.45 показано параметри, які застосовуються для встановлення початкової точки інструменту. Діаметр інструменту становить 32 мм.

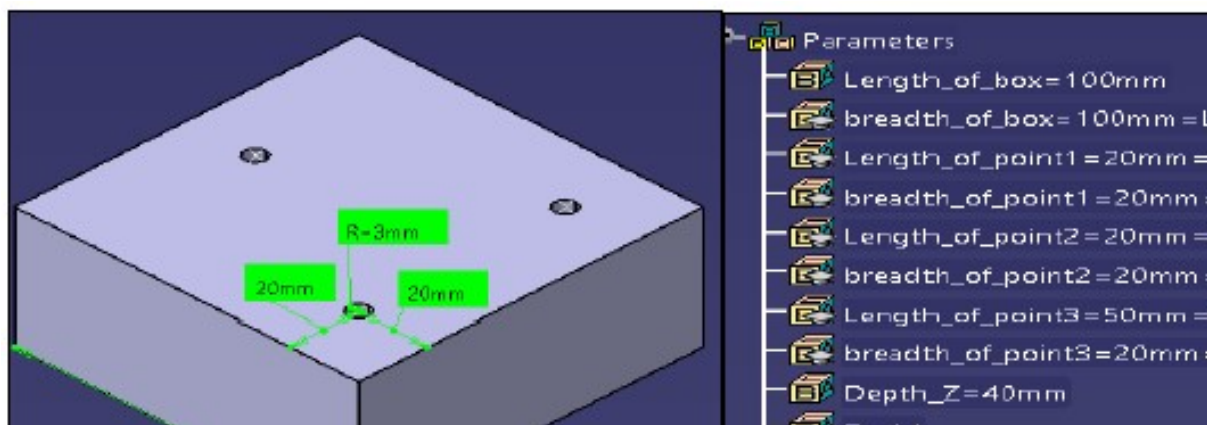


Рисунок 4.44 – Параметри корпусу

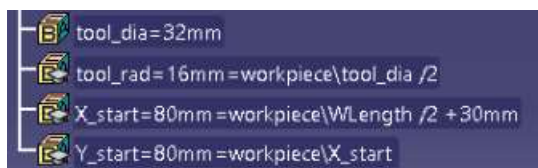


Рисунок 4.45 – Параметри для установки початкової точки

Оскільки розмір готового корпусу повинен становити 100 мм, а заготовка на 20 мм більша, то надлишок матеріалу необхідно обрізати. В даному випадку це виконується аналогічно моделі корпусу із отвором посередині (див. 4.4.1).

На рис. 4.46 показані параметри корпусу, які задані як X2, Y2, X3, Y3, Y4. Формула всіх параметрів наступна:

$$X2 = Y2 = X3 = Y3 = \frac{L}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ мм} \quad (4.6)$$

де L – довжина корпусу, мм.

Параметр Y4 представляє собою допуск, який розраховується за формулою:

$$Y4 = \frac{L}{2} + R_{tool} + 1, \quad (4.7)$$

де R_{tool} – радіус інструменту, мм.

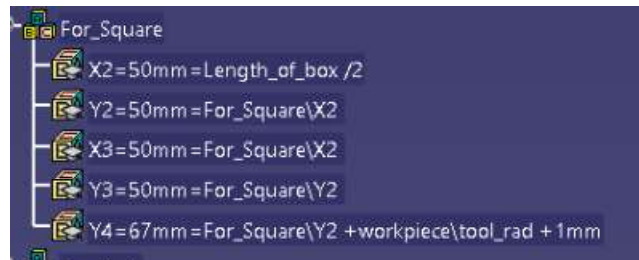


Рисунок 4.46 – Параметри корпусу

Для обробки отворів були створені окремі параметри (рис. 4.47), а саме:

- отвір 1 - X5 і Y5;
- отвір 2 - X6 і Y6;
- отвір 3 - X7 і Y7.

Самі точки, які представляють собою центр отворів у корпусі, не мають довжини та ширини, на відміну від самого корпусу. Але необхідно задати назви параметрів положення точок для спрощення розуміння концепції зміщення отворів. Наприклад, параметри для точки 1 представляють собою відстані від

бічної грані корпусу по ширині та довжині (рис. 4.48). Таким чином, при зміні математичного зв'язку параметру довжина точки 1, отвір буде переміщуватись паралельно ширині корпусу в напрямку осі X. Аналогічно параметр ширина точки 1 відповідає зміщенню точки відносно довжини корпусу по осі Y. Положення точок у Catia V5 відносно корпусу задавались на основі правил, які показані на рис. 4.49.



Рисунок 4.47 – Параметри отворів

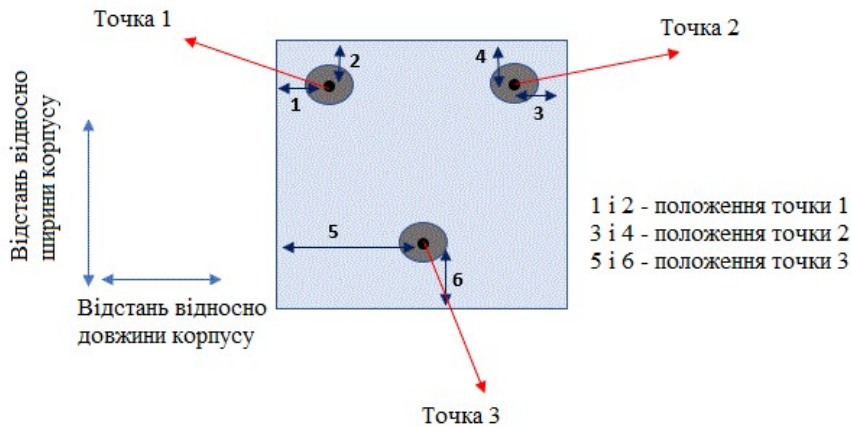


Рисунок 4.48 – Параметри, які відповідають центрам отворів

Наведені правила необхідно привласнити значенням параметрів X5 і Y5, а розташування отвору буде визначатись на основі значень цих параметрів. Аналогічно такі правила необхідно задати для параметрів X6, X7, Y6, Y7. Всі ці параметри в подальшому викликаються у VB скрипті (див. 4.4.1).

Оскільки отвори мають однаковий радіус, для їх свердлування можна використати один інструмент. В результаті роботи скрипта був згенерований код обробки корпусу із отворами, який показаний у табл. 4.8-4.11.

```

Rule Editor : x5 Active
Line: 1
/*Rule created by vivba598 2019-08-13*/
If Length_of_point1 ==Length_of_box /2
{
    For_Hole\X5 =0mm
}
else
{
    For_Hole\X5 =Length_of_box /2-Length_of_point1
}

```

a)

```

Rule Editor : y5 Active
Line: 1
/*Rule created by vivba598 2019-08-13*/
If breadth_of_point1 ==Length_of_box /2
{
    For_Hole\Y5 =0mm
}
else
{
    For_Hole\Y5 =Length_of_box /2-breadth_of_point1
}

```

б)

Рисунок 4.49 – Правило визначення параметрів положення отворів:

а - параметр X5; б – параметр Y5

Таблиця 4.8 – Скрипт VBA для обробки корпусу

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
5	T14 M6	Print #1, "T14 M6"
6	G54 X-80 Y80 S4000 M3	Print #1, "G54 X" & -x_val; " Y" & y_val; " S" & s_1val; " M3"
7	G43 Z3 H14 M88	Print #1, "G43 Z3 H14 M88"
8	G01 Z0 F120	Print #1, "G01 Z0 F" & f_1val; ""
9	M97 P901 L16	Print #1, "M97 P901 L16"
10	M01	Print #1, "M01"

Таблиця 4.9 – Підпрограма обробки отворів

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
33	N901	Print #1, "N901"
34	G91 Z-2.5 F1200	Print #1, "G91 Z-2.5 F" & f_2val; ""
35	G90	Print #1, "G90"
36	G01 G41 X-80 Y50 D14	Print #1, "G01 G41 X" & -x_val; " Y" & y_2val; " D14"
37	G01 X50	Print #1, "G01 X" & x_2val; ""
38	G01 Y-50	Print #1, "G01 Y" & -y_3val; ""
39	G01 X-50	Print #1, "G01 X" & -x_3val; ""
40	G01 Y67	Print #1, "G01 Y" & y_4val; ""
41	G01 G40 X-80 Y80	Print #1, "G01 G40 X" & -x_val; " Y" & y_val; ""

Таблиця 4.10 – Скрипт визначення положення отворів на корпусі

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
14	T2 M6	Print #1, "T2 M6"
15	G54 X30 Y30 S2500 M3	Print #1, "G54 X" & x_5val; " Y" & y_5val; " S" & s_2val; " M3"
16	G43 Z3 H2 M8	Print #1, "G43 Z3 H2 M8"
17	G81 Z-5 R3 F120	Print #1, "G81 Z" & -Z_1val; " R" & rad_val; " F" & f_1val; ""
18	X-30 Y30	Print #1, " X" & -x_6val; " Y" & y_6val; ""
19	X0 Y-30	Print #1, " X" & x_7val; " Y" & -y_7val; ""
20	G80 M9	Print #1, "G80 M9"

У 5 рядку проводиться вибір ріжучого інструменту діаметром 32 мм. В 6 рядку наведені команди встановлення початку траєкторії руху інструменту. В 9 рядку відбувається виклик підпрограми і задається кількість циклів проведення обробки, а саме 16 разів.

Таблиця 4.11 – Скрипт обробки отворів

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
23	T6 M6	Print #1, "T6 M6"
24	G54 X30 Y30 S1100 M3	Print #1, "G54 X" & x_5val; " Y" & y_5val; " S" & s_3val; " M3"
25	G43 Z3 H6 M8	Print #1, "G43 Z3 H6 M8"
26	G83 Z-40 Q5 R3 F120	Print #1, "G83 Z" & -Z_depthval; " Q" & q_val; " R" & r_f 1val: ""
27	X-30 Y30	Print #1, " X" & -x_6val; " Y" & y_6val; ""
28	X0 Y-30	Print #1, " X" & x_7val; " Y" & -y_7val; ""

Коди підпрограми містяться у рядках 33-41 (табл. 4.9). На кожному із 16 циклів глибина різання становить 2,5 мм (задається в рядку 34), тобто таким чином за 16 циклів досягається цільова глибина отвору у 40 мм. З 36 по 41 рядок відбувається свердлування отвору аналогічно до процесу свердлування отвору у корпусі, що розглядався в розділі 4.4.1.

Після обробки профілю отвору у 14 рядку програми (табл. 4.10) змінюється ріжучий інструмент для проведення свердлування отвору. Різні положення отворів на корпусі досягаються завдяки встановленим параметрам X5 - X7 і Y5 - Y7. Команди у рядках 15-20 (табл. 4.10) описують процес свердлування для позначення положення отворів із радіусом 3мм на корпусі на глибині 5 мм.

У рядку 23 знову відбувається зміна інструменту для свердлування отвору на зазначену глибину. Наступні рядки з 24 по 28 містять команди, в яких прописано власне процес свердлування отворів.

Модель з не фіксованим положенням отворів.

Для кращого розуміння процесу формування математичних залежностей та їх зв'язку із кодами обробки деталі, корпус із отворами розглядався у двох різних варіантах. При першому варіанті отвори не залежали від габаритних

розмірів корпусу. В другому варіанту розглядається приклад генерації коду обробки деталі у тому випадку, коли між положенням отворів і габаритними розмірами корпусу задається математична залежність. Такі залежності наведені на рис. 4.50.

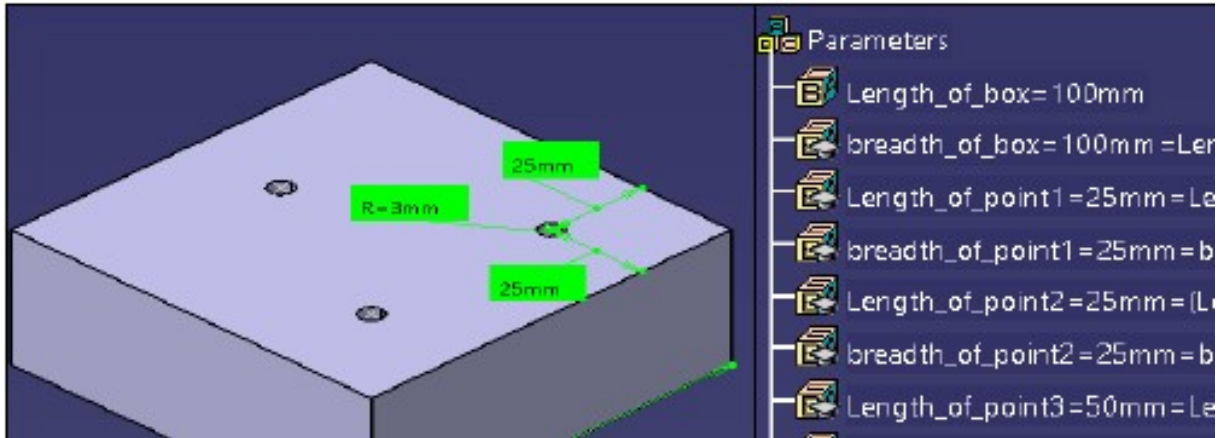


Рисунок 4.50 – Параметри та математичні залежності для обробки корпусу із отворами

При зміні розміру довжини та/або ширини корпусу з 100 мм на 80 мм, код обробки деталі змінюється автоматично без необхідності внесення змін у скрипт обробки. У табл. 4.12 та на рис. 51 показано порівняння обробки деталі та ключових відмінностей в автоматично згенерованому коді для різних положень отворів відносно зовнішніх граней корпусу. Відмінності у коді обробки виділені напівжирним шрифтом для спрощення сприйняття інформації. Повний код обробки корпусу із отворами однакового радіусу параметричним методом наведений у додатку А.4.

Як видно з табл. 4.12 та рис. 4.51 основні відмінності в коді стосуються саме координат розташування центру отвору, тобто при зміні габаритних розмірів корпусу у випадку використання другого підходу, будуть змінюватись відповідні відстані, як це показано на рис. 4.51. Основні відмінності в коді обробки знаходяться у рядках 24, 27 і 28.

Таблиця 4.12 – Ключові відмінності у коді обробки отворів [23]

Номер рядку обробки деталі	Модель із математичною залежністю між отворами та зовнішніми розмірами корпусу	Модель із фіксованим положенням отворів по відношенню до корпусу
23	T6 M6	T6 M6
24	G54 X25 Y25 S1100 M3	G54 X30 Y30 S1100 M3
25	G43 Z3 H6 M8	G43 Z3 H6 M8
26	G83 Z-40 Q5 R3 F120	G83 Z-40 Q5 R3 F120
27	X-25 Y25	X-30 Y30
28	X0 Y-25	X0 Y-30
29	G80 M9	G80 M9

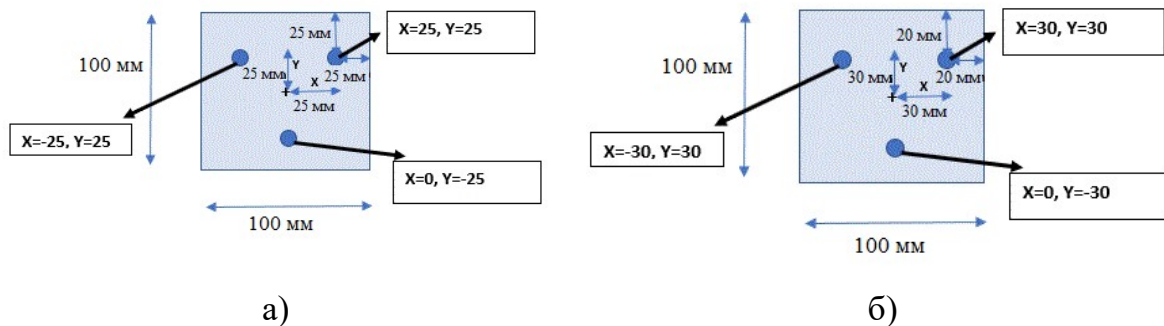


Рисунок 4.51 – Відмінності в обробці отворів:

а – параметричний зв'язок відсутній; б – наявний параметричний зв'язок

4.4.4 Корпус із отворами різного радіусу

Оскільки основною відмінністю між моделями, які зображені на рис. 4.18 в та 4.18 г є діаметр отворів в корпусі, то процес обробки самого корпусу залишається незмінним (див. 4.4.3). В цьому випадку також розглядаються два різні підходи до генерації кодів та задання параметрів отворів, як це описувалось у розділі 4.4.3.

Оскільки діаметр отворів різний, то основні зміни у коді обробки деталі будуть стосуватись зміни інструменту для свердлування отворів. Аналогічно до розділів 4.4.1-4.4.3, код обробки деталі наведений у табл. 4.13-4.14. Повний код обробки корпусу із отворами рідного радіусу фіксованим методом наведений у додатку А.5, а параметризованим методом – у додатку А.6.

Таблиця 4.13 – Скрипт обробки отворів

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
21	T6 M6	Print #1, "T6 M6"
22	G54 X30 Y30 S1100 M3	Print #1, "G54 X" & x_5val; " Y" & S" & s_3val: " M3"
23	G43 Z3 H6 M8	Print #1, "G43 Z3 H6 M8"
24	G83 Z-40 Q5 R3 F120	Print #1, "G83 Z" & -Z_depthval; " Q" R" & rad1_val: " F" & f_1val: ""
25	G80 M9	Print #1, "G80 M9"

Таблиця 4.14 – с

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
5	T14 M6	Print #1, "T14 M6"
6	G54 X-80 Y80 S4000 M3	Print #1, "G54 X" & -x_val; " Y" & y_1 s_1val: " M3"
7	G43 Z3 H14 M88	Print #1, "G43 Z3 H14 M88"
8	G01 Z0 F120	Print #1, "G01 Z0 F" & f_1val; ""
9	M97 P901 L16	Print #1, "M97 P901 L16"
10	M01	Print #1, "M01"
11	M89	Print #1, "M89"
14	T2 M6	Print #1, "T2 M6"
15	G54 X30 Y30 S2500 M3	Print #1, "G54 X" & x_5val; " Y" & y_5 s_2val; " M3"

У рядку 5 зазначена команда зміни інструменту для обробки корпусу, рядок 6 відповідає за встановлення початкової точки проведення процесу обробки. Рядок 14 містить команду зміни інструменту та позначення положення отвору. При обробці інших отворів у моделі принцип формування коду обробки деталі аналогічний. На рис. 4.52 показано приклад обробки отворів різного діаметру.

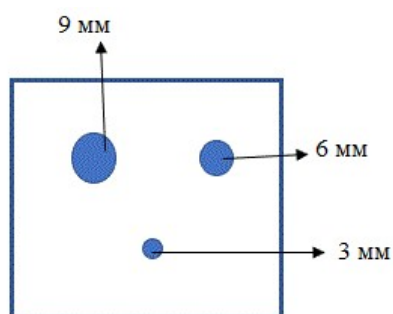


Рисунок 4.52 – Корпус із отворами різного діаметру

При аналізі згенерованих кодів за першим та другим підходом у порівнянні із моделю, описаною в розділі 4.4.3, можна зробити висновок, що різниця в кодах обробки деталі стосується лише вибору різних ріжучих інструментів, оскільки отвори мають різні радіуси. Весь інший принцип генерації коду обробки деталі зберігається.

4.4.5 Піраміда

«Основна відмінність моделей, що розглядались у попередніх розділах у порівнянні із гранюю пірамідою з точки зору формування кодів обробки деталі на верстаті з ЧПК полягає в тому, що при обробці піраміди ріжучий інструмент на кожному етапі обробки змінює своє положення відносно центру заготовки та відбувається збільшення глибини різання» [23].

У Catia V5 було спроектовано піраміду (рис. 4.18, д), яка містить 10 переходів в розмірах сходинок, висота кожної сходинки становить 5 мм. Найвища площина піраміди має довжину і ширину 10 мм, наступна – вдвічі

більша, тобто 20 і 20 мм, а остання має розміри 100 і 100 мм відповідно довжини і ширини. Оскільки піраміда складається з десяти таких сходинок по 5 мм кожна, то загальна висота становить 50 мм.

На першому етапі код обробки деталі був згенерований ручним методом у програмному забезпеченні Catia V5. Результати показані на рис. 4.53. В загальному код містить 1206 рядків.

```
%
O1000
( *****
( * INTELLIGENT MANUFACTORY SOFTWARE WWW.IMS-SOFTWARE.COM
( * IMSPOST VERSION : 8.1Q                *)
( * USER VERSION : 1                      *)
( *****
N1 G49 G64 G17 G80 G0 G90 G40 G99
( TOOL DATA : T1 END MILL D 1 )
N2 T0001 M6
( OPERATION : ROUGHING.1 )
N3 X99.999 Y-6.01 S70 M3
N4 G43 Z5. H1
N5 G1 G94 Z-5. F300.
N6 Y0
N7 Y100. F1000.
N8 X97.058
... continued

-----
N1196 X1.973 Y96.145
N1197 X2.179 Y96.585
N1198 X2.444 Y96.985
N1199 X2.77 Y97.345
N1200 X2.942 Y97.486
N1201 Y100
```

Рисунок 4.53 – Код обробки піраміди, згенерований в Catia V5

«Аналогічно до попередніх моделей, перший етап роботи із пірамідою полягає у створення відповідних параметрів та їх подальша прив’язка в Catia V5 і скрипті VB до геометрії деталі» [23]. Основні параметри зовнішніх розмірів піраміди показані на рис. 4.54. Параметри однієї із сходинок піраміди наведені на рис. 4.55.

На рис. 4.55 наведені параметри верхньої площини піраміди. Параметр Y3 представляє собою останній зріз першої площини піраміди. Аналогічним чином створюються параметри для інших десяти площин піраміди, тобто загальна кількість параметрів деталі найбільша із всіх моделей, які розглядалися в роботі.

Заготовка має розміри 100 мм в довжину і 100 мм в ширину. Перша площина піраміди має розмір 10 мм в ширину і 10 мм в довжину (рис. 4.56). Оскільки розміри першої площини піраміди значно відрізняються від розміру заготовки, то в процесі обробки деталі виникає необхідність видалення залишків матеріалу. Якщо цей процес не передбачити відповідними рядками коду обробки деталі, інструмент може пошкодитись в процесі обробки наступних площин піраміди. Для цього були створені окремі параметри, які наведені на рис. 4.57.

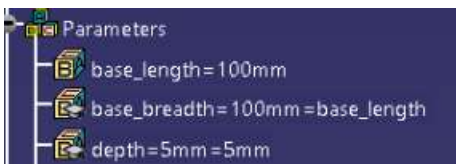


Рисунок 4.54 – Параметри піраміди

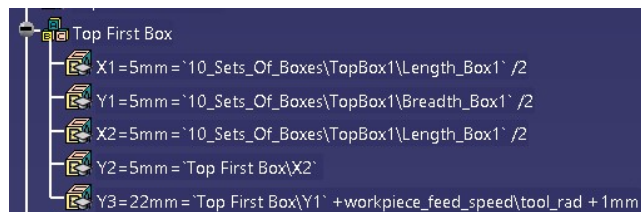


Рисунок 4.55 – Параметри сходинки піраміди

Існує безліч способів виконання обробки та видалення надлишкового матеріалу, які залежать в першу чергу від розміру ріжучого інструменту. Оскільки приймається ріжучий інструмент з діаметром 32 мм, то від верхньої площини піраміди до четвертої площини заготовку можна обробити в один прохід інструменту. Тобто, врахування параметрів для видалення надлишкового матеріалу необхідно проводити лише для трьох верхніх площин піраміди.



Рисунок 4.56 – Параметри заготовки для обробки піраміди



Рисунок 4.57 – Параметри, створені для видалення залишків матеріалу в процесі обробки

Для проведення такої обробки в скрипті автоматичної генерації кодів буде використовуватись цикл For (рис. 4.58). Параметр I_nr лежить в межах від 1 до 2, тобто відповідний параметр, під назвою base_length (довжина основи) буде змінюватись в циклі двічі.

Результат генерації коду для обробки піраміди наведений у табл. 4.15-4.16. У рядку 5 задані команди вибору інструменту, а у рядку 6 – встановлення початкової точки для траєкторії руху інструменту. Рядок 8 відповідає за наближення інструменту до заготовки, а у рядку 9 відбувається виклик підпрограми (табл. 4.16) та задається кількість циклів роботи підпрограми (у даному випадку 2 цикли) для досягнення глибини в 5 мм. Зчитування викликаної підпрограми відбувається з рядка під номером 40. Повний код обробки піраміди наведений у додатку А.7.

```
Set Length_of_box = parameters1.Item("base_l  
Set Length_of_box = parameters1.Item("base_t  
For I_nr = 1 To 2
```

Рисунок 4.58 – Використання циклу For у скрипті

Таблиця 4.15 – Скрипт обробки піраміди

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
5	T14 M06	Print #1, "T14 M6"
6	G54 X-80. Y80. S4000 M03	Print #1, "G54 X" & -x_val; " Y" & y_val; " S" & s_val; " M3"
7	G43 Z3. H14 M88	Print #1, "G43 Z3 H14 M88"
8	G01 Z0 F120.	Print #1, "G01 Z0 F120"
9	M97 P901 L2	Print #1, "M97 P901 L2"
10	M01	Print #1, "M01"
11	G01 Z-5. F120.	Print #1, "G01 Z" & -Z_1val; " F120"
12	M97 P902 L2	Print #1, "M97 P902 L2"
13	M01	Print #1, "M01"

Таблиця 4.16 – Підпрограма обробки піраміди

Номер рядка	Кінцевий код обробки деталі	Код у VB-скрипті
40	N901	Print #1, "N901"
41	G91 Z-2.5 F800.	Print #1, "G91 Z-2.5 F" & f_2val; ""
42	G90	Print #1, "G90"
43	G01 G41 X-80. Y34. D14	Print #1, "G01 G41 X" & -x_val; " Y" & yw1_val; " D14"
44	G01 X34.	Print #1, "G01 X" & xw1_val; ""
45	G01 Y-34.	Print #1, "G01 Y" & -yw1_val; ""
46	G01 X-34.	Print #1, "G01 X" & -xw1_val; ""
47	G01 Y5.	Print #1, "G01 Y" & y_1val; ""
48	X5.	Print #1, " X" & x_1val; ""
49	Y-5.	Print #1, "G01 Y" & -y_2val; ""
50	X-5.	Print #1, "G01 X" & -x_2val; ""
51	Y22.	Print #1, "G01 Y" & y_3val; ""
52	G01 G40 X-80. Y80.	Print #1, "G01 G40 X" & -x_val; " Y" & y_val; ""

«Після обробки верхньої площини піраміди в другій підпрограмі вже буде вирізана глибина 5 мм. Отже, при проведенні наступної операції ріжучий інструмент повинен в напрямку Z рухатись ще на 5 мм. По цій причині в рядку значення становить Z-5. Ця значення для кожної підпрограми отримуються на основі параметрів, створених в Catia V5, які в подальшому викликаються у скрипті (рис. 4.59). Далі викликається наступна підпрограма. Такі підпрограми викликаються до тих пір, поки ріжучий інструмент не проведе обробку основи піраміди» [23].

На рис. 4.60 наведено траєкторію руху інструменту та відповідність руху інструменту рядкам згенерованого коду обробки деталі.

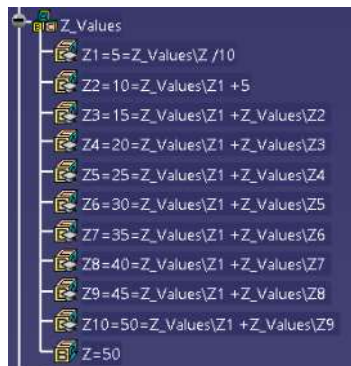


Рисунок 4.59 – Параметри глибин різання для кожної із площин піраміди

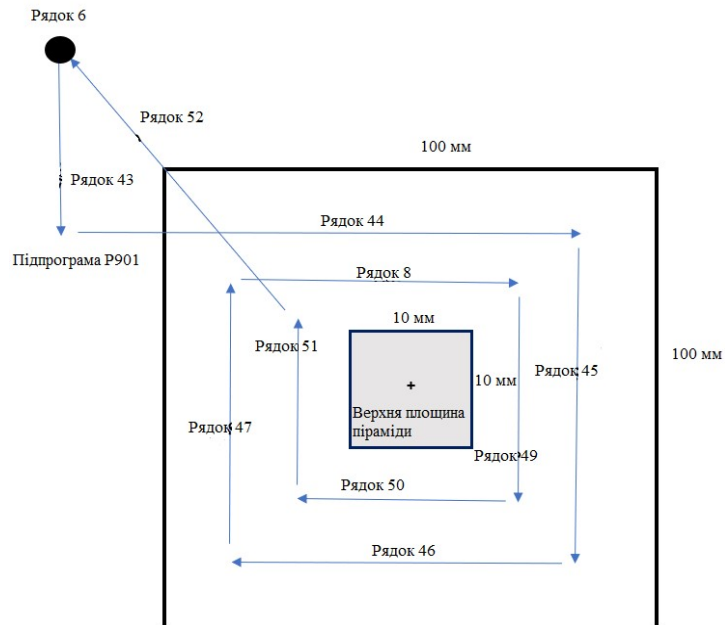


Рисунок 4.60 – Обробка верхньої площини піраміди

В результаті при обробці піраміди ручним методом, довжина коду становила 1206 рядків, в той час як використання автоматизованого методу призвело до зменшення коду до 142 рядків. Для обробки піраміди автоматизованим методом в загальному використовується 9 підпрограм.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Правила безпеки при роботі за верстатами з ЧПК

При виконанні робіт на верстатах з ЧПК не допускається нехтування вимог з охорони праці, яка призначена до забезпечення безпечних умов праці. На основі Державних нормативних актів з охорони праці розроблена стандартизована інструкція операторів верстатів з ЧПК, в якій описані загальні правила безпеки [11].

В інструкції підкреслюється, що робоче місце оператора з ЧПК (РМО) вважається постійним. До роботи на таких верстатах можуть допускатись лише ті особи, які пройшли відповідне навчання, медичний огляд, первинний інструктаж на робочому місці та вивчили безпечні прийоми виконання робіт.

Окрім загальних правил безпеки при роботі на металорізальних верстатах, оператор з ЧПК зобов'язаний підпорядковуватись правилам пожежної безпеки, а також виконувати лише ту роботу, яка йому доручена.

Шкідливими та небезпечними виробничими чинниками, які впливають на оператора верстата з ЧПК є:

- гострі кромки деталей та інструменту;
- рухомі частини устаткування та механізми;
- підвищена температура стружки, інструменту та деталей;
- недостатня освітленість РМО;
- вплив парів ЗОР;
- потенційна можливість ураження електричним струмом;
- падаючі матеріали, заготовки та інші об'єкти;
- підвищений рівень шуму;
- не нормовані параметри мікроклімату в приміщенні.

В процесі роботи оператор верстату з ЧПК зобов'язаний користуватись лише справними пристосуваннями та інструментами, при чому їх використання можливе лише за призначенням. РМО повинно підтримуватись в порядку та

чистоті, а також до робочого місця повинен бути вільний доступ, тобто суворо заборонено захащувати його сторонніми предметами.

Із засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) операторів з ЧПК повинні бути робочі черевики (рис. 5.1, а), бавовняний костюм (рис. 5.1, б) та захисні окуляри (рис. 5.1, в).



Рисунок 5.1 – Засоби індивідуального захисту оператора з ЧПК:
а – робочі черевики; б – захисний костюм; в – захисні окуляри

Під час виконання роботи оператор з ЧПК зобов'язаний дотримуватись встановлених санітарних норм та правил, а саме:

- працювати лише у ЗІЗ;
- утримувати РМО в порядку та чистоті;
- не приймати їжу за робочих місцем;
- вимити руки після закінчення роботи.

Частина обов'язків, які покладаються на оператора з ЧПК, повинна виконуватись ще до початку роботи за верстатом. Наприклад, робочий одяг та взуття обов'язково повинен бути застібнутий на всі гудзики, взуття повинно захищати ноги від попадання на них пилю, бруду та, головне, стружки, а головний убір повинен щільно облягати голову.

Перед початком роботи оператор повинен переконатись у справності верстату та відсутності безладу на робочому місці. Далі в його обов'язки

входить забезпечення достатнього рівня мастила, охолоджувальної рідини у відведених під це резервуарах.

Необхідно перевіряти міцність кріплення, наявність та справність приводних ременів, огорож зубчастих коліс, приводів, валиків, шпинделі, а також струмоведучих частин електроапаратури, до яких відносяться трансформатори, пускачі та рубильники. Також необхідно переконатись у справності пристроїв подачі охолоджуючих мастил та запобіжних пристроїв захисту від стружки [11].

Місцеве освітлення повинно регулюватись таким чином, щоб робоча зона верстату було достатньо освітлена, а світловий потік від лампи не потрапляв напряму в очі оператора. При цьому відмічається, що місцеве освітлення повинно бути із напругою до 36 В, використання більш потужного місцевого освітлення забороняється.

Необхідно впевнитись у наявності індивідуальних підйомних пристроїв верстату та захватних пристосувань. Для проведення таких перевірок на підприємстві та РМО повинна бути спеціальна інструкція. Також слід перевірити справність верстату на холостому ході, а також в автоматичному та ручному режимі. При проведенні такої перевірки необхідно переконатись в справній дії наступних елементів:

- механізованих затисних пристосувань;
- затискних пневмопатронів;
- систем охолодження та змащення, які забезпечують безперебійну та нормальну подачу мастила та ЗОР;
- основних органів управління, а саме подавальних та підйомних пристроїв, електричних кнопкових пристроїв гальм.

В разі виявлення будь-якої несправності верстату необхідно без затримок попередити про це відповідальну на підприємстві особу, при чому до усунення таких несправностей суворо заборонено приступати до роботи. Перед пуском верстату оператор зобов'язаний переконатись в тому, що його робота не загрожує не лише самому оператору, але й іншим особам.

Після отримання завдання та проведення підготовчого етапу, дозволяється переходити до його виконання. В процесі роботи оператор з ЧПК повинен постійно спостерігати за роботою верстату, а саме за:

- контрольними точками програм;
- сигналізації на панелі управління;
- величиною та характером лінійних переміщень;
- відхилень рівня шуму та характеру роботи механізмів;
- чіткістю виконання технологічних команд різними вузлами верстата.

З метою запобігання ударів робочих органів устаткування та інструменту оператор з ЧПК повинен обмежувати величину переміщення рухомих органів. Крім того, у обов'язки оператора входить відслідковування стану ріжучого інструменту.

У випадку використання нового програмоносія або заміні зношеного необхідно перевірити його справність на холостому ході верстата без деталей, при чому правильність виконання верстатом програми слід перевіряти в режимі відпрацювання програми без переміщень.

Після переналаджень або зміни програмоносія необхідно бути обережним та особливо уважним при виконанні першої обробки. В такому випадку не допускається введення в систему керування максимальних значень переміщень.

Всі підготовчі роботи необхідно проводити в режимі налагоджування або на знеструмленому стані. До таких підготовчих робіт входять:

- регулювання систем змащення та механічних вузлів;
- установка кінцевих вимикачів та упорів;
- заміна інструменту та його установка, а також заготовок, деталей, пристосувань, патронів, тощо.

Після закінчення роботи оператор з ЧПК повинен повністю вимкнути обладнання та верстат, а також привести в порядок робоче місце. Це включає в себе протирання верстату та іншого обладнання, а також очищення його від бруду, окалини та стружки.

Необхідно звернути особливу увагу на стан ходових гвинтів, напрямних, вузлів зміни інструменту. По закінченню роботи оператор повинен також змастити всі механічні вузли та рухомі частини.

У випадку виявлення мінімальних та незначних на перший погляд несправностей, необхідно одразу доповісти майстру. Після цього слід знати засоби індивідуального захисту та прибрати їх у відведене місце.

5.2 Розрахунок шуму у виробничих приміщеннях

Шум представляє собою один із найбільш поширених несприятливих та шкідливих виробничих факторів, який дуже поширений на машинобудівних підприємствах. Будь-який шум характеризується рядом параметрів, до яких відносяться:

- звуковий тиск p , Па;
- інтенсивність звуку I , Вт/м²;
- частота звуку f , Гц.

Звуковим полем називається та частина робочого простору, в якому поширюються звукові хвилі. За умови наявності джерела шуму у приміщенні відбувається невелике коливання тиску. Звуковим тиском, в свою чергу, називається різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім значенням тиску, які спостерігаються у незбуреному виробничому середовищі.

Інтенсивність звуку розраховується за формулою 5.1, а її вимірювання проводять на основі середньої кількості звукової енергії, що за одиницю часу проходить через площадку, яка перпендикулярна напрямку поширення звукових хвиль.

$$I = \frac{\bar{p}^2}{\rho \cdot c}, \quad (5.1)$$

де c – швидкість звуку в середовищі, м/с;

ρ – густина середовища, кг/м³ [11].

При проведенні розрахунків та оцінки рівня шуму у виробничому середовищі використовується логарифмічний підхід та введено поняття рівень інтенсивності звуку та рівень звукового тиску. Це пояснюється тим, що людське вухо сприймає широкий діапазон величин інтенсивності звуку (від 10^{-12} до 1 Вт/м^2) та звукового тиску (від $2 \cdot 10^{-5}$ до 20 Па) [11]. Враховуючи правила математики, за яким найбільш зручно оперувати зі степенями саме за допомогою логарифмів, було введено такі показники, як рівень інтенсивності звуку та рівень звукового тиску, які визначаються за формулами:

$$L_{\text{ТИСК}} = 20 \lg \frac{\bar{p}}{p_0}, \quad (5.2)$$

$$L_{\text{ІНТ}} = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (5.3)$$

де $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ – значення звукового тиску, що відповідає порогу чутності на частоті 1000 Гц за нормальних атмосферних умов;

\bar{p} – середнє квадратичне значення звукового тиску у даній точці;

$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ – інтенсивність звуку, що відповідає порогу чутності на частоті 1000 Гц ;

I – інтенсивність звуку у даній точці [11].

У випадку, якщо на працівника діє непостійний шум, тобто шум, який змінюється протягом робочого дня більше ніж на 5 дБ , характеристикою шуму приймають його еквівалентний рівень [11]:

$$L_{A \text{ екв}} = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0.1 L_{Ai}}}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (5.4)$$

де t_i – тривалість дії шуму з рівнем звуку L_{Ai} [11].

Для розрахунку шуму на робочому місці оператора з ЧПК оберемо приклад, при якому верстати працюють не повний робочий день. За замовченням приймаємо, що в приміщенні розташовано чотири різних верстати, в кожного з яких різне значення середньо квадратичного звукового тиску, а

рівні звукового тиску та інтенсивності звуку невідомі. Вхідні дані для розрахунку наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вхідні дані для розрахунку виробничого шуму

Середнє квадратичне значення тиску в 1 точці, \bar{p} , Па	Час дії	Середнє квадратичне значення тиску в 2 точці, \bar{p} , Па	Час дії	Середнє квадратичне значення тиску в 3 точці, \bar{p} , Па	Час дії	Середнє квадратичне значення тиску в 4 точці, \bar{p} , Па	Час дії
2,5	9:00-11:00	7	11:30-14:30	11,5	10:30-16:00	19	12:30-18:00

Як видно з табл. 5.1, шум непостійний. Тоді для розрахунку та оцінки рівня шуму на робочому місці одного оператора верстату з ЧПК необхідно для початку розглянути кожну окрему точку як окреме джерело шуму із своїми унікальними значеннями.

Тоді інтенсивність звуку, рівень інтенсивності звуку та рівень звукового тиску відповідно у точках становитимуть:

I джерело шуму:

$$I = \frac{p^{-2}}{p \cdot c} = \frac{2,5^2}{410} = 0,01524 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} L_1 &= 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \lg \left(\frac{0,01524}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{1,524 \cdot 10^{-2}}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{1,524}{10^{-10}} \right) = \\ &= 10 \cdot \lg (1,524 \cdot 10^{10}) = 10 \cdot 10,182 = 101,82 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} L &= 10 \cdot \lg \frac{p^{-2}}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p^-}{p_0} = 20 \cdot \lg \left(\frac{2,5}{2 \cdot 10^{-5}} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{5}{10^{-5}} \right) = \\ &= 20 \cdot \log(5 \cdot 10^5) = 5,698 \cdot 20 = 113,96 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.7)$$

2 джерело шуму:

$$I = \frac{p^{-2}}{p \cdot c} = \frac{7^2}{410} = 0,1195 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} L_1 &= 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \lg \left(\frac{0,1195}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{1,195 \cdot 10^{-1}}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{1,195}{10^{-11}} \right) \\ &= 10 \cdot \lg(1,195 \cdot 10^{11}) = 10 \cdot 11,077 = 110,77 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} L &= 20 \cdot \lg \left(\frac{7}{2 \cdot 10^{-5}} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{14}{10^{-5}} \right) = 20 \cdot \lg(14 \cdot 10^5) = \\ &= 6,146 \cdot 20 = 122,92 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.10)$$

3 джерело шуму:

$$I = \frac{p^{-2}}{p \cdot c} = \frac{11,5^2}{410} = 0,3225 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} L_1 &= 10 \cdot \lg \left(\frac{0,3225}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{3,225 \cdot 10^{-1}}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{3,225}{10^{-11}} \right) = \\ &= 10 \cdot \lg(3,225 \cdot 10^{11}) = 10 \cdot 11,508 = 115,08 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} L &= 20 \cdot \lg \left(\frac{11,5}{2 \cdot 10^{-5}} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{23}{10^{-5}} \right) = 20 \cdot \lg(23 \cdot 10^5) = \\ &= 6,361 \cdot 20 = 127,22 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.13)$$

4 джерело шуму:

$$I = \frac{p^{-2}}{p \cdot c} = \frac{19^2}{410} = 0,8804 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.14)$$

$$\begin{aligned} L_1 &= 10 \cdot \lg \left(\frac{8,804 \cdot 10^{-1}}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{8,804}{10^{-11}} \right) = \\ &= 10 \cdot \lg(8,804 \cdot 10^{11}) = 10 \cdot 11,944 = 119,44 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.15)$$

Після проведених розрахунків та у відповідності із табл. 5.1 слід встановити проміжки часу, протягом яких на оператора верстату з ЧПК впливав

шум із різних джерел протягом робочого дня. Графік впливу шуму протягом робочої зміни зображено на рис. 5.2.

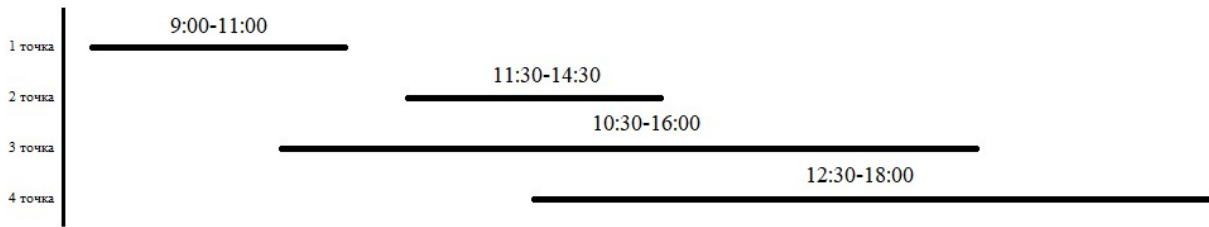


Рисунок 5.2 – Графік впливу шуму з різних джерел по годинам робочої зміни

Тоді проміжки часу будуть наступними:

1) з 9 ранку до 10:30 (протягом 1,5 години), при чому рівень інтенсивності звуку становить 101,82 дБ;

2) з 10:30 до 11:00 на працівника діють шуми з 1 та 3 точки (протягом 0,5 години); сумарний рівень інтенсивності шуму в цьому проміжку становить:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 101,82} + 10^{0,1 \cdot 110,77}) = 11,12 \cdot 10 = 111,2 \text{ дБ} \quad (5.16)$$

3) з 11:00 до 11:30 (протягом 0,5 години), при чому рівень інтенсивності звуку становить 115,08 дБ;

4) з 11:30 до 12:30 на працівника діють шуми з 2 та 3 точки (протягом 1 години); сумарний рівень інтенсивності шуму в цьому проміжку становить:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 110,77} + 10^{0,1 \cdot 115,08}) = 11,64 \cdot 10 = 116,4 \text{ дБ} \quad (5.17)$$

5) з 12:30 до 14:30 на працівника діють шуми з 2, 3 та 4 точки (протягом 2 годин); сумарний рівень інтенсивності шуму в цьому проміжку становить:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= 10 \lg(10^{0,1 \cdot 110,77} + 10^{0,1 \cdot 115,08} + 10^{0,1 \cdot 119,44}) = \\ &= 12,12 \cdot 10 = 121,2 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5.18)$$

6) з 14:30 до 16:00 на працівника діють шуми з 3 та 4 точки (протягом 1,5 години); сумарний рівень інтенсивності шуму в цьому проміжку становить:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 115,08} + 10^{0,1 \cdot 119,44}) = 12,07 \cdot 10 = 120,7 \text{ дБ} \quad (5.19)$$

7) з 16:00 до 18:00 (протягом 2 годин), при чому рівень інтенсивності звуку становить 119,44 дБ.

Встановивши проміжки дії непостійного шуму від верстатів з ЧПК, можемо визначити еквівалентний рівень шуму:

$$L_{A \text{ екв}} = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n t_i * 10^{0,1 L_{Ai}}}{\sum_{i=1}^n t_i} =$$

$$= 10 \lg \left(\frac{1,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 101,82} + 0,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 111,2} + 0,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 115,08} + 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 116,4}}{1,5 + 0,5 + 0,5 + 1 + 2 + 1,5 + 2} + \right.$$

$$\left. + \frac{2 \cdot 10^{0,1 \cdot 121,2} + 1,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 120,7} + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot 119,44}}{1,5 + 0,5 + 0,5 + 1 + 2 + 1,5 + 2} \right) = 119,9 \text{ дБ} \quad (5.20)$$

На основі розрахованих даних можемо побудувати графік впливу шуму на оператора з ЧПК протягом робочої зміни (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Графік впливу шуму на оператора з ЧПК протягом робочої зміни

Враховуючи необхідність захисту працівника від шуму на рівні еквівалентного значення, розрахованого у 5.20, для захисту органів слуху приймаємо протишумові навушники Interlagos Light (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 - Протишумові навушники Interlagos Light

Такі навушники призначені для захисту органів слуху від підвищених рівнів шуму. В конструкції навушників передбачене гнучке наголів'я із додатковою м'якою прокладкою [20], що значно збільшує зручність використання та тривалість, при якому оператор з ЧПК може використовувати ці навушники без втоми. Такі навушники відповідають стандарту ДСТУ EN 352-1-2002 [10].

ВИСНОВКИ

Метою досліджень в рамках задач, поставлених в дипломній роботі було вивчення потенціалу автоматизації генерації кодів обробки деталей на верстатах з ЧПК. Отримані за результатами проведених емпіричних досліджень показали, що ручний метод програмування кодів для моделей різної геометрії є достатньо проблематичним, оскільки оператор витрачає набагато більше часу. Автоматизація процесу проєктування механічної обробки представляє собою потужний інструмент, внаслідок використання якого відбувається підвищення продуктивності процесу написання кодів обробки деталей на верстатах з ЧПК.

Необхідність застосування автоматизованого методу пояснюється забезпеченням більшої точності та ефективності обробки деталей. Крім того, завдяки автоматизованим підходам значно спрощується процес врахування змін у геометрії моделі, які можуть виникнути в подальшому при обробці типових деталей.

Основним потенціалом автоматизованого підходу можна виокремити те, що процес генерації коду не залежить від постпроцесора конкретного верстату, та може використовуватись як для малогабаритних верстатів так і для центрів обробки. Це показано в роботі шляхом використання кодів обробки для верстатів Roland MDX-40A та HAAS VM3.

Після проведення аналізу щодо генерації кодів для деталей ручним та автоматизованим методом, можна відмітити, що такий метод є більш оптимальним для обробки деталей, оскільки код обробки деталі автоматизованим методом зменшується в декілька разів у порівнянні із кодом, який формується в програмному забезпеченні Catia V5. Крім того, використання такого методу має більший рівень гнучкості програм обробки деталей, оскільки при зміні параметрів моделі у програмі, в якій створювалась геометрія деталі, згенерований автоматично код обробки деталі буде змінюватись без втручання оператора верстату з ЧПК. Внаслідок використання скриптів автоматизації кодів обробки деталей, такі коди можна використовувати на різних верстатах, наприклад, Roland MDX 40A та HAAS VM3 [22, 23].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dubovska R. Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of CNC Machining Process / Dubovska R., Jambor J., Majerik J. // *Procedia Engineering* 69. – 2014. – p. 638-645
2. Konig O., Wintermantel M. CAD-based Evolutionary Design Optimization with CATIA V5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/228713225_CAD-based_Evolutionary_Design_Optimization_with_CATIA_V5 (дата звернення 16.11.2023)
3. Kowalski M. Intelligent manufacturing templates for CNC machine programming / M. Kowalski, P. Zawadzki // 15th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM 2021). – 20198 (2022). – p. 1-7
4. Modela MDX-40A Milling Machine. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rolanddga.com/support/products/milling/modela-mdx-40a-3d-milling-machine> (дата звернення 11.09.2023)
5. Visual Basic for Applications. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic_for_Applications (дата звернення 25.10.2023)
6. VM3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.haascnc.com/ps/machines/vertical-mills/mold-machines/models/vm-3.html> (дата звернення 12.09.2023)
7. Барандич К.С. Системи автоматизованого проєктування: конспект лекцій: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / К.С, Барандич, О.О. Подолян, М.М. Гладський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.
8. Бірта Г.О. Методологія і організація наукових досліджень. Навчальний посібник. / Г.О. Бірта, Ю.Г. Бургу. – Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.
9. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів. Навчальний посібник. / О.М. Васілевський, Ігнатенко О.Г. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 160 с.

10. ДСТУ EN 352-1-2002. Засоби індивідуального захисту органа слуху. Вимоги безпеки і випробування. Частина 1. Шумозахисні навушники. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/61755/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_EN_352-1-2002 (дата звернення 15.11.2023)

11. Інструкція з охорони праці №136 для оператора верстатів з ЧПК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dnzkvpu.org.ua/news/15-01-44-03-09-2022/> (дата звернення 12.11.2023)

12. Кирилков В.А. Охорона праці та безпека життєдіяльності. Лабораторний практикум. Навчальний посібник / В.А. Кирилков, А.А. Нестер, І.І. Ковтун, В.В. Мисліборський. – Хмельницький: ХНУ, 2011. – 137 с.

13. Ковальов В.А. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158 с.

14. Крищук М.Г. Робота в програмному продукті САТІА. Загальні відомості. Частина 1: методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму / М.Г. Крищук, А.В. Трубін, Н.Ф. Тертишна, В.О. Єщенко – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017. – 78 с.

15. Кучугуров М.В. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни — Основи систем автоматизованого проектування || для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. ст. викл. Кучугуров М.В., доц. Пухальська Г.В, ст. викл. Вишнепольський Є.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 61 с.

16. Лекція 15. Підготовка управляючих програм для верстатів з ЧПК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/140612/mod_resource/content/1/Лекція%2015%2815.1%29.pdf (дата звернення 13.10.2023)

17. Міранцов С.Л. Системи автоматизованого проектування верстатів з ЧПК: навчальний посібник. / С.Л. Міранцов, В.І. Тулупов, С.Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 152 с.

18. Муляр Ю.І. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. Навчальний посібник. / Ю.І. Муляр, О.В. Дерібо. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 91 с.

19. Павленко П.М. Автоматизація технічної підготовки виробництва. Навчальний посібник / П.М. Павленко, Є.І. Яблочников, Ю.А. Буренников, Л.Г. Козлов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 114 с.

20. Протишумові навушники Interlagos Light. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrprofzahyst.com.ua/ua/protivoshumovye-naushniki/684-protivoshumnye-naushniki-interlagos-light> (дата звернення 15.11.2023)

21. Саєнко С.Ю. Основи систем автоматизованого проектування. / С.Ю. Саєнко, І.В. Нечипоренко. – Х.: ХДУХТ, 2017. – 120 с.

22. Соколан К.С. Оптимізація написання кодів обробки деталей на верстатах з ЧПК шляхом їх автоматичної генерації / К.С. Соколан, І.В. Ларіонов // Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції «Наука і металургія». – 14-16.11.2023. – с. 84

23. Соколан Ю.С. Автоматизоване генерування кодів обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням / Ю.С. Соколан, І.В. Ларіонов, П.С. Майдан, К.С. Соколан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – с. 212-219

24. Створення керувальних програм на верстатах з ЧПК. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/stvorenniya-keruvalnix-program-dlya-verstativ-z-chpu/> (дата звернення 15.10.2023)

25. Фрезерно-гравіювальний верстат MDX-40A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rdm24.ua/products/frezernye-stanki/mdx-40a/> (дата звернення 12.09.2023)

ДОДАТКИ

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1			Документація загальна		
2					
3					
4	A4	ДРМ.ФІТА.23.00.00 ПЗ	Розрахунково-пояснювальна записка		
5	A1	ДРМ.ФІТА.23.01.01.00	Досліджуваний верстат. Roland MDX-40A	1	
6	A1	ДРМ.ФІТА.23.01.02.00	Досліджуваний верстат. HAAS VM3	1	
7	A1	ДРМ. ФІТА.23.02.01.00	Методологія проведення дослідження	1	
8	A1	ДРМ.ФІТА.23.04.01.01	Корпус із порожниною	1	
9	A1	ДРМ.ФІТА.23.04.02.02	Корпус із отвором	1	
9	A1	ДРМ.ФІТА.23.04.03.03	Порожнистий циліндр	1	
10	A1	ДРМ.ФІТА.23.04.04.04	Корпус із отворами	1	
11	A1	ДРМ.ФІТА.23.04.05.05	Піраміда	1	
12					
13					

					ДРМ.ФІТА.23.00.00ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив.	Ларіонов В.І.						4	104
Перевірив	Соколан Ю.С.							
Н. Контр.	Бись С.С.					ХНУ ПМТм-22-15		
Затвердив	Ткачук В.П.							