

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО**  
**ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**  
**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та**  
**транспортної інфраструктури**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

на тему: Розроблення керуючої програми ЧПК з використанням  
циклів оброблення

---

Виконав: здобувач вищої освіти

3 курсу, групи Сінж 2023-1у

напряму підготовки (спеціальності)

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка

Черкас В. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Цегельник Є. В.,

к.т.н., старший дослідник

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент Тимофєєв О. В.,

директор ПП «Аксікон»

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та  
транспортної інфраструктури**

Кафедра автоматизації комп'ютерно- інтегрованих технологій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ



БАРАНОВ О. О.

“ 19 ” червня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Черкас Владиславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи Розроблення керуючої програми ЧПК з використанням  
циклів оброблення

затверджені наказом університету від « 22 » травня 2026 року № 440-03

Керівник роботи Цегельник Євген Володимирович,

к.т.н., старший дослідник

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи «16» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Фрезерний оброблювальний центр з системою  
FANUC; 3.2 Корпусна деталь прямокутної форми (120×80×20 мм).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити): 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз методів програмування обладнання з  
числовим програмним керуванням; 4.3 Розроблення методики створення  
керуючої програми з використанням циклів; 4.4 Охорона праці; 4.5 Висновки.

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

Демонстраційний матеріал – 19 стр. формату А4.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Цегельник Є. В., ст. дослідник каф. АКІТ	11.05.26	21.05.26
Основна частина	Цегельник Є. В., ст. дослідник каф. АКІТ	22.05.26	31.05.26
Спеціальна частина	Цегельник Є. В., ст. дослідник каф. АКІТ	01.06.26	17.06.26
Охорона праці	Малишева В. В., доц. каф. ОПтаБЖД	 08.06.26	15.06.26

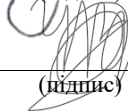
7. Дата видачі завдання « 11 » травня 2026 р.

Керівник

  
\_\_\_\_\_


Цегельник Є. В.

Завдання прийняв до виконання

  
\_\_\_\_\_

Черкас В. Ю.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

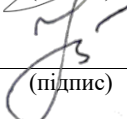
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Аналіз методів програмування обладнання з ЧПК	11.05.26 – 21.05.26	
2	Розроблення методики створення програми з використанням циклів	22.05.26 – 31.05.26	
3	Розроблення та перевірка керуючої програми ЧПК	01.06.26 – 17.06.26	
4	Охорона праці	08.06.26 – 15.06.26	
5	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	19.06.26	Тимофєєв О. В.
6	Захист на ДЕК	24.06.26	

Здобувач вищої освіти

  
\_\_\_\_\_

Черкас В. Ю.

Керівник

  
\_\_\_\_\_

Цегельник Є. В.

## РЕФЕРАТ

Метою роботи є розроблення керуючої програми ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення та оцінювання ефективності їх застосування під час механічного оброблення деталі.

У роботі розглядається розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення. Проведено аналіз методів програмування ЧПК, структури керуючих програм та особливостей застосування циклів свердління, розточування, ізьбо нарізання і фрезерування.

Розроблено технологічний маршрут оброблення деталі, обґрунтовано вибір обладнання, інструменту та системи керування FANUC. Створено керуючу програму із використанням циклів G81, G83, G84 та G85, виконано її моделювання та перевірку працездатності. Проведено аналіз ефективності використання циклів оброблення, який підтвердив скорочення обсягу програмного коду та спрощення процесу програмування.

Структура роботи представлена вступом, чотирма розділами, висновками і переліком посилань.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, 4 розділів, висновки, додатків та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 85 сторінок, в тому числі: 10 рисунків; 12 таблиці; 3 додатка на 14 сторінках; перелік посилань з 30 найменувань на 3 сторінках.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЧПК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, ЦИКЛИ ОБРОБЛЕННЯ, G-КОДИ, ФРЕЗЕРУВАННЯ, СВЕРДЛІННЯ, FANUC.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to develop a CNC control program using standard machining cycles and to evaluate the effectiveness of their application during the machining of a part.

This paper examines the development of a control program for CNC equipment using standard machining cycles. An analysis was conducted of CNC programming methods, the structure of control programs, and the specifics of applying drilling, boring, thread cutting, and milling cycles.

A machining process route for the part was developed, and the selection of equipment, tools, and the FANUC control system was justified. A control program was created using cycles G81, G83, G84, and G85, and its simulation and functionality were verified. An analysis of the efficiency of using machining cycles was conducted, which confirmed a reduction in the amount of program code and a simplification of the programming process.

The structure of the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The bachelor's thesis consists of an introduction, 4 sections, conclusions, appendices and a list of references. The full volume of the bachelor's final qualification work is 85 pages, including: 10 drawings; 12 tables; 3 supplement on 14 pages; a list of links with 30 titles on 3 pages.

**KEYWORDS:** CNC, AUTOMATION, CONTROL SOFTWARE, MACHINING CYCLES, G-CODES, MILLING, DRILLING, FANUC, MACHINE TOOL PROGRAMMING.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГРАМУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ .....	11
1.1 Призначення та особливості обладнання з ЧПК .....	11
1.2 Структура керуючої програми для обладнання з ЧПК .....	14
1.3 Основні методи програмування обладнання з ЧПК .....	19
1.4 Цикли оброблення у керуючих програмах .....	23
1.5 Висновки до першого розділу .....	29
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИКЛІВ .....	32
2.1 Аналіз деталі та вихідних даних для розроблення програми .....	32
2.2 Вибір обладнання, інструменту та системи ЧПК .....	35
2.3 Розроблення маршруту оброблення деталі .....	40
2.4 Вибір циклів оброблення для реалізації технологічних переходів ..	44
2.5 Висновки до другого розділу .....	49
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ЧПК .....	51
3.1 Формування системи координат та налагоджувальних параметрів .....	51
3.2 Розроблення керуючої програми з використанням циклів оброблення .....	56
3.3 Моделювання та перевірка керуючої програми .....	61
3.4 Аналіз ефективності використання циклів оброблення .....	66
3.5 Висновки до третього розділу .....	
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	73

4.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці .....	73
4.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек .....	74
4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження .....	77
4.4 Висновки до четвертого розділу .....	80
ВИСНОВКИ .....	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ .....	83
ДОДАТОК А Програмний код O1001_CNC_program_with_cycles.nc .....	86
ДОДАТОК Б Порівняння програм та результатів з використанням та без використання циклів .....	89
ДОДАТОК В Демонстраційний матеріал .....	90

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

БД – база даних;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

ТО – технологічні операції;

ТП – технологічний процес;

ЧПК – числове програмне керування.

## ВСТУП

Сучасне виробництво характеризується високими вимогами до точності виготовлення деталей, продуктивності технологічних процесів (ТП) та ефективності використання виробничих ресурсів. Одним із найважливіших напрямів підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств є впровадження обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), яке забезпечує автоматизоване виконання технологічних операцій (ТО) із мінімальним впливом людського фактора. Використання верстатів з ЧПК дозволяє значно підвищити якість оброблення деталей, скоротити тривалість виробничого циклу та забезпечити стабільність технологічних параметрів.

Ефективність роботи обладнання з ЧПК значною мірою залежить від якості розроблення керуючих програм. Керуюча програма визначає траєкторію руху інструмента, режими різання, послідовність виконання технологічних переходів та допоміжних операцій. Зі збільшенням складності деталей зростає обсяг програмного коду, що ускладнює його створення, перевірку та подальше редагування. Тому особливої актуальності набуває застосування стандартних циклів оброблення, які реалізовані в сучасних системах ЧПК.

Стандартні цикли оброблення являють собою готові програмні підпрограми, призначені для виконання типових ТО, таких як свердління, розточування, нарізання різьби, фрезерування контурів і кишень. Використання циклів дозволяє значно скоротити обсяг керуючої програми, підвищити її наочність та спростити процес програмування. Крім того, цикли забезпечують зменшення ймовірності виникнення помилок, пов'язаних із ручним введенням великої кількості кадрів програми.

У сучасних умовах цифровізації виробництва та розвитку концепцій Industry 4.0 програмування обладнання з ЧПК залишається одним із

ключових елементів автоматизованого виробництва. Незважаючи на широке використання САМ-систем для автоматичного генерування програм, знання принципів ручного програмування та застосування стандартних циклів є необхідним для технологів, операторів і програмістів верстатів з ЧПК. Це дозволяє ефективно коригувати програми, адаптувати їх до конкретних умов виробництва та забезпечувати оптимальне використання ТО.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності розроблення керуючих програм ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення, що забезпечують скорочення обсягу програмного коду, підвищення надійності програмування та спрощення процесу підготовки виробництва.

Метою роботи є розроблення керуючої програми ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення та оцінювання ефективності їх застосування під час механічного оброблення деталі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості обладнання з ЧПК та методи його програмування;
- дослідити структуру керуючих програм і принципи використання стандартних циклів оброблення;
- виконати аналіз деталі та вихідних даних для програмування;
- обґрунтувати вибір обладнання, інструменту та системи ЧПК;
- розробити маршрут оброблення деталі та визначити необхідні цикли оброблення;
- створити керуючу програму з використанням стандартних циклів;
- виконати перевірку працездатності програми та оцінити ефективність використання циклів оброблення;
- розробити заходи та розрахунки для забезпечення безпечної роботи персоналу у наукової лабораторії.

Об'єктом дослідження є процес програмування обладнання з числовим програмним керуванням.

Предметом дослідження є методика створення керуючих програм ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні керуючої програми з використанням стандартних циклів оброблення, яка може бути використана під час підготовки виробництва, навчання операторів і програмістів верстатів з ЧПК, а також для підвищення ефективності виконання типових ТО механічної обробки деталей.

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГРАМУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

## 1.1 Призначення та особливості обладнання з числовим програмним керуванням

Обладнання з ЧПК є основою сучасного автоматизованого виробництва та забезпечує виконання ТО відповідно до заздалегідь підготовленої керуючої програми. Використання таких систем дозволяє автоматизувати процес механічного оброблення деталей, підвищити точність виготовлення продукції, забезпечити стабільність параметрів оброблення та зменшити вплив людського фактора на результати виробництва [2, 4].

У сучасному машинобудуванні обладнання з ЧПК використовується для виготовлення деталей різного рівня складності. Завдяки можливості автоматичного керування переміщенням інструмента та заготовки забезпечується висока повторюваність ТО і досягається значне скорочення виробничого циклу [1, 5]. Особливо важливим є застосування верстатів з ЧПК у серійному та дрібносерійному виробництві, де необхідно швидко переналаштовувати обладнання для виготовлення нових виробів без значних витрат часу та ресурсів [10].

Основним принципом роботи обладнання з ЧПК є виконання команд, які записані у спеціальній керуючій програмі. Програма містить інформацію про координати переміщення інструмента, режими різання, швидкість подачі, частоту обертання шпинделя та допоміжні команди керування обладнанням [3, 8]. Система керування послідовно зчитує кадри програми, аналізує їх зміст та формує відповідні сигнали для виконавчих механізмів верстата.

До складу сучасного обладнання з ЧПК входять механічна частина верстата, електроприводи подач та головного руху, система ЧПК, пристрої

вимірювання координат і панель оператора [4]. Центральним елементом є система ЧПК, яка виконує функції оброблення програмної інформації, контролю координатних переміщень та управління ТП. Сучасні системи керування забезпечують одночасне керування декількома координатними осями, що дозволяє реалізовувати складні траєкторії руху інструмента та обробляти просторові поверхні [2].

Обладнання з ЧПК поділяється на три основні групи (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Обладнання з ЧПК

Найбільш поширеними є металорізальні верстати з ЧПК, до яких належать токарні, фрезерні верстати та багатофункціональні оброблювальні центри. До спеціалізованих установок відносять лазерні, плазмові та інші комплекси, що використовують ЧПК для виконання ТО різання та оброблення матеріалів. Окрему групу становлять роботизовані та автоматизовані виробничі системи, які забезпечують виконання складних виробничих процесів у межах концепції цифрового виробництва та

## Industry 4.0.

За технологічним призначенням обладнання з ЧПК поділяється на кілька основних груп. Найбільш поширеними є токарні верстати з ЧПК, які призначені для оброблення деталей типу валів, втулок, дисків та інших тіл обертання. Вони дозволяють виконувати точіння зовнішніх і внутрішніх поверхонь, підрізання торців, свердління та нарізання різьби [6].

Другу велику групу становлять фрезерні верстати та оброблювальні центри з ЧПК. Таке обладнання використовується для виготовлення корпусних деталей, штампів, прес-форм та інших виробів складної геометричної форми. Завдяки використанню декількох координатних осей забезпечується можливість виконання контурного фрезерування, оброблення кишень, пазів, складних просторових поверхонь та інших ТО [7].

Широке поширення отримали багатоопераційні оброблювальні центри, які поєднують можливості свердління, фрезерування, розточування та нарізання різьби в межах одного технологічного циклу. Використання таких комплексів дозволяє виконувати комплексне оброблення деталі без її повторного встановлення, що підвищує точність взаємного розташування поверхонь та скорочує допоміжний час [5].

Крім металорізальних верстатів, технології ЧПК активно використовуються у лазерних, плазмових та гідроабразивних установках різання, координатно-вимірювальних машинах, роботизованих виробничих комплексах та адитивних установках. Це свідчить про універсальність принципів ЧПК та їх ефективність у різних галузях промисловості [10].

Однією з найважливіших переваг обладнання з ЧПК є висока точність позиціонування. Завдяки використанню серводвигунів, високоточних передач та систем зворотного зв'язку забезпечується переміщення робочих органів із мінімальними похибками [4]. Це дозволяє виготовляти деталі, які відповідають сучасним вимогам щодо точності та якості поверхні.

Ще однією важливою особливістю є можливість автоматичної зміни інструмента. Більшість сучасних оброблювальних центрів обладнуються

магазинами інструментів, що дозволяє автоматично виконувати декілька різних операцій у межах однієї програми без участі оператора [7]. Завдяки цьому підвищується продуктивність виробництва та зменшується час переналагодження обладнання.

Суттєвою перевагою систем ЧПК є їх інтеграція із сучасними CAD/CAM-системами. Використання таких програмних комплексів дозволяє створювати тривимірні моделі деталей, автоматично формувати траєкторії руху інструмента та генерувати керуючі програми для конкретних систем керування [9]. Це значно скорочує час технологічної підготовки виробництва та підвищує якість програмування.

Важливу роль у роботі обладнання з ЧПК відіграють стандартні технологічні цикли, які реалізовані в системах керування FANUC, Siemens, Heidenhain та інших виробників [8]. Використання таких циклів дозволяє автоматизувати виконання типових операцій свердління, розточування, нарізання різьби та фрезерування, що суттєво спрощує структуру керуючих програм і підвищує їх надійність.

Обладнання з ЧПК є високотехнологічною основою сучасного виробництва. Його використання забезпечує високу точність, продуктивність, гнучкість та автоматизацію ТП. Постійний розвиток систем ЧПК, засобів автоматизованого програмування та цифрових виробничих технологій створює передумови для подальшого підвищення ефективності виробництва та розширення сфер застосування обладнання з ЧПК [1, 9, 10].

## 1.2 Структура керуючої програми для обладнання з ЧПК

Керуюча програма є основним інформаційним документом, відповідно до якого здійснюється автоматичне керування обладнанням з ЧПК. Вона містить сукупність команд, що визначають послідовність ТО, траєкторію переміщення інструмента, режими різання, а також допоміжні дії, необхідні для виконання процесу оброблення деталі. Саме якість розроблення керуючої

програми значною мірою визначає точність, продуктивність та безпечність роботи верстата з ЧПК [2, 3].

Керуюча програма складається з окремих кадрів, які послідовно виконуються системою керування. Кожен кадр являє собою завершену команду або набір команд, що визначають конкретну дію ТО. У програмі кадри записуються послідовно відповідно до логіки виконання технологічного процесу. Зазвичай кожен кадр починається з номера, що спрощує редагування та пошук необхідних фрагментів програми [8].

Структура керуючої програми залежить від типу обладнання та системи ЧПК, проте більшість сучасних систем керування використовують міжнародний стандарт ISO 6983, який визначає формат запису програм мовою G-кодів та M-кодів [21]. Такий підхід забезпечує уніфікацію програмування різних типів верстатів та спрощує перенесення програм між різними системами керування.

Типова керуюча програма складається з трьох основних частин: заголовка програми, основної частини та завершального блоку (рисунок 1.2).

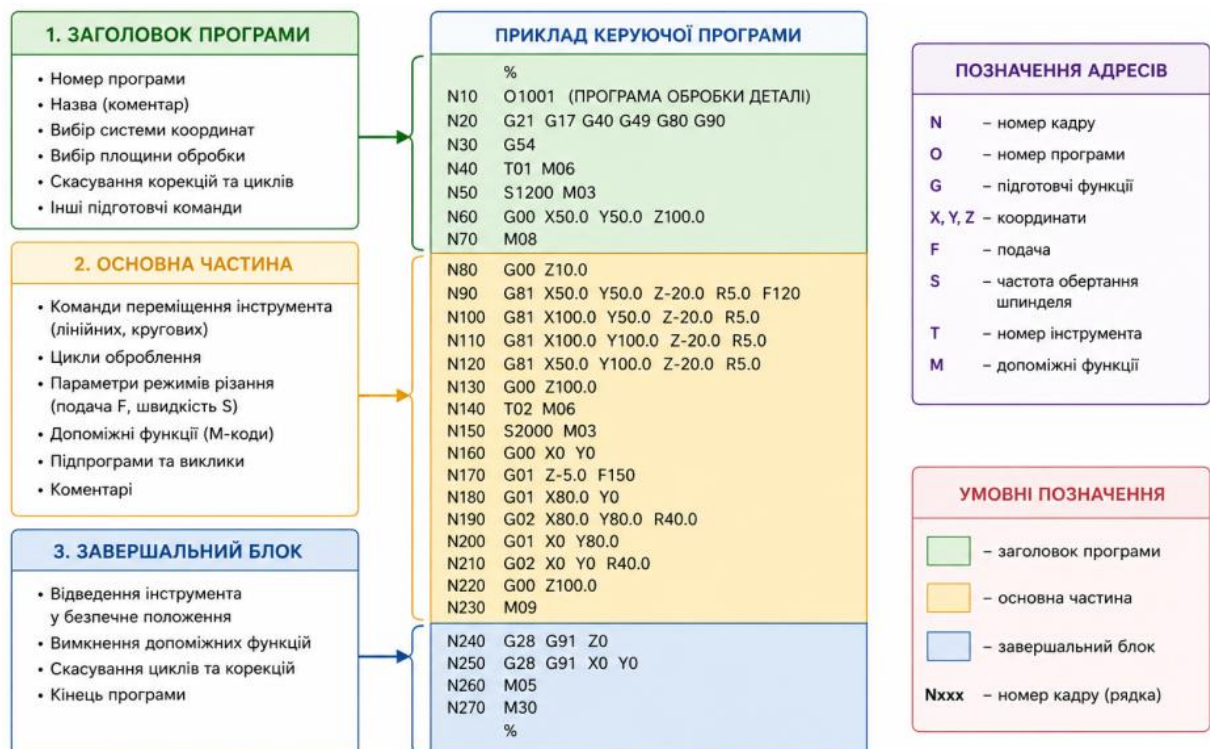


Рисунок 1.2 – Структура керуючої програми для обладнання з ЧПК

Заголовок містить службову інформацію про номер програми, вибір системи координат, встановлення режимів роботи та підготовчі команди. Основна частина включає безпосередньо команди виконання технологічних переходів. Завершальна частина забезпечує повернення інструмента у безпечне положення, вимкнення допоміжних пристроїв та завершення виконання програми [4].

На початку програми зазвичай вказується її номер, наприклад: O1001 – використовується для її ідентифікації в пам'яті системи ЧПК [12].

Після заголовка записуються команди підготовки обладнання до роботи. До них належать вибір абсолютної або відносної системи координат, встановлення метричної або дюймової системи вимірювання, вибір робочої площини та скасування активних корекцій. Наприклад: G21 G17 G40 G49 G80 G90.

Цей рядок встановлює метричну систему координат, вибирає площину ХУ, скасовує корекцію радіуса інструмента, корекцію довжини інструмента, активні цикли та вмикає режим абсолютного програмування [13].

Основними елементами керуючої програми є G-коди (підготовчі функції), наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні G-коди

Код	Призначення
G00	швидке позиціонування
G01	лінійна інтерполяція
G02	кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою
G03	кругова інтерполяція проти годинникової стрілки
G17	вибір площини ХУ
G21	метрична система
G54 – G59	робочі системи координат
G8 – G89	цикли свердління та розточування

Вони визначають режими роботи обладнання та характер переміщення інструмента. Найбільш поширеними є команди швидкого позиціонування, лінійної та кругової інтерполяції [15].

Особливе значення мають команди G00 та G01. Команда G00 використовується для швидкого переміщення інструмента між технологічними переходами без виконання різання, тоді як команда G01 забезпечує робочий рух із заданою подачею під час оброблення матеріалу [8].

Другу важливу групу команд становлять M-коди (допоміжні функції), наведені в таблиці 1.2. Вони керують роботою шпинделя, системи охолодження, зміною інструмента та завершенням програми [11].

Таблиця 1.2 – Основні M-коди

Код	Призначення
M03	обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
M04	обертання шпинделя проти годинникової стрілки
M05	зупинка шпинделя
M06	зміна інструмента
M08	увімкнення охолодження
M09	вимкнення охолодження
M30	завершення програми

Наприклад, команда M03 S1500 – означає запуск шпинделя зі швидкістю обертання 1500 об/хв за годинниковою стрілкою [12].

Важливою складовою структури керуючої програми є система координат. Для визначення положення інструмента використовуються декартові координати X, Y та Z. На багатокоординатних верстатах можуть додатково використовуватися осі A, B і C для обертальних рухів [13].

Для забезпечення правильного виконання програми необхідно визначити нульову точку деталі. Вона є початком відліку всіх координат під час оброблення. Найчастіше використовуються робочі системи координат

G54 – G59, які дозволяють задавати різні положення нульових точок для різних заготовок або пристосувань [14].

Крім координатних команд, у програмі використовуються параметри подачі та швидкості різання. Подача задається адресою F, а частота обертання шпинделя – адресою S. Наприклад, G01 X50 Y30 F250 – означає лінійне переміщення інструмента до точки з координатами X50 Y30 із подачею 250 мм/хв [15].

Для підвищення точності оброблення застосовуються корекції інструмента. Корекція довжини інструмента дозволяє враховувати фактичну довжину різального інструмента, а корекція радіуса – його геометричні розміри. Завдяки цьому стає можливим швидке переналагодження верстата без зміни основної програми [4].

У сучасних системах ЧПК широко використовуються підпрограми та цикли оброблення. Підпрограми дозволяють багаторазово використовувати однакові фрагменти коду, а стандартні цикли забезпечують автоматичне виконання типових операцій свердління, розточування, нарізання різьби та фрезерування [11, 13]. Використання таких засобів значно скорочує обсяг програмного коду та спрощує його супровід.

Сучасні керуючі програми можуть створюватися як вручну, так і за допомогою САМ-систем. Незалежно від способу розроблення кінцевим результатом є текстова програма, що містить послідовність стандартизованих команд для системи ЧПК [9].

Структура керуючої програми для обладнання з ЧПК являє собою впорядковану сукупність кадрів, які містять координатні дані, технологічні параметри, підготовчі та допоміжні функції. Використання стандартизованих G- та M-кодів, систем координат, корекцій інструмента та циклів оброблення забезпечує ефективне керування ТП і створює основу для автоматизованого виготовлення деталей складної геометричної форми [2, 8, 15].

### 1.3 Основні методи програмування обладнання з ЧПК

Ефективність використання обладнання з ЧПК значною мірою залежить від способу створення керуючих програм. Саме метод програмування визначає тривалість підготовки виробництва, складність налагодження обладнання, можливість внесення змін до технологічного процесу та загальну продуктивність роботи підприємства. У сучасному машинобудуванні застосовуються три основні підходи до створення керуючих програм: ручне програмування, програмування за допомогою САМ-систем та комбінований метод, який поєднує переваги двох попередніх способів [3, 8].

Розвиток систем ЧПК та засобів автоматизованого проектування призвів до значного вдосконалення технологій програмування. Якщо на початкових етапах розвитку верстатів з ЧПК практично всі програми створювалися вручну, то сьогодні дедалі ширше використовуються спеціалізовані програмні комплекси, здатні автоматично генерувати траєкторії руху інструмента та формувати готові керуючі програми на основі тривимірної моделі деталі [9].

#### 1.3.1 Ручне програмування ЧПК

Ручне програмування є класичним методом створення керуючих програм, за якого програміст самостійно формує всі кадри програми, використовуючи стандартизовані G-коди та M-коди. При цьому необхідно визначати координати всіх характерних точок траєкторії інструмента, режими різання, параметри подачі та допоміжні команди керування обладнанням [2].

Процес ручного програмування починається з аналізу креслення деталі та визначення послідовності ТО. Після цього програміст вибирає систему координат, визначає нульову точку деталі, виконує розрахунок координат

інструментальних переміщень і формує програму відповідно до вимог конкретної системи ЧПК [4].

Основною перевагою ручного програмування є повний контроль над структурою керуючої програми. Технолог або оператор має можливість детально налаштовувати всі параметри оброблення, оптимізувати траєкторії руху інструмента та швидко вносити необхідні зміни без використання додаткового програмного забезпечення (ПЗ) [8].

Особливо ефективним ручне програмування є під час створення простих програм для свердління, точіння, оброблення пазів або виконання інших нескладних ТО. У таких випадках підготовка програми займає мінімальний час, а використання САМ-систем може бути економічно недоцільним [15].

Разом із перевагами ручний метод має певні недоліки. При обробленні деталей складної геометричної форми обсяг необхідних розрахунків суттєво зростає, що підвищує ймовірність помилок. Крім того, створення великих програм потребує значних витрат часу та високої кваліфікації програміста.

### 1.3.2 Програмування з використанням САМ-систем

Подальший розвиток автоматизованого виробництва привів до появи САМ-систем (Computer Aided Manufacturing), які дозволяють автоматизувати процес підготовки керуючих програм. Такі системи працюють у взаємодії з САД-системами, що використовуються для створення тривимірних моделей деталей [9].

Принцип роботи САМ-систем полягає у формуванні траєкторії руху інструмента на основі геометричної моделі виробу. Після вибору обладнання, інструменту та технологічних параметрів система автоматично генерує послідовність команд для верстата з ЧПК [24].

Серед найбільш поширених САМ-систем можна виділити Mastercam, Autodesk Fusion 360, SolidCAM, Siemens NX CAM та PowerMILL. Ці програмні продукти забезпечують підтримку широкого спектра

технологічних операцій та дозволяють створювати програми для токарних, фрезерних і багатокоординатних оброблювальних центрів [24, 25].

Однією з найважливіших переваг САМ-систем є можливість автоматичного розрахунку складних траєкторій інструмента. Це особливо важливо під час виготовлення деталей зі складними просторовими поверхнями, прес-форм, штампів та елементів авіаційної техніки [19].

Сучасні САМ-системи мають засоби візуалізації та моделювання процесу оброблення. Програміст може перевірити траєкторію руху інструмента, виявити можливі зіткнення та оцінити якість майбутньої обробки ще до запуску програми на реальному обладнанні [24].

Важливою перевагою є також скорочення часу підготовки виробництва. Після внесення змін до конструкції деталі система автоматично перебудовує траєкторії інструмента та генерує оновлену програму. Це значно підвищує гнучкість виробничого процесу та спрощує освоєння нових виробів [9].

Разом з тим використання САМ-систем потребує відповідного програмного забезпечення, потужних обчислювальних ресурсів та спеціальної підготовки персоналу. Крім того, автоматично сформовані програми не завжди є оптимальними з точки зору продуктивності, тому часто потребують додаткового редагування [25].

### 1.3.3 Комбінований метод програмування

На сучасних підприємствах найбільш поширеним є комбінований метод програмування, який поєднує переваги ручного програмування та САМ-технологій. У цьому випадку основна частина програми створюється автоматично за допомогою САМ-системи, а потім коригується програмістом відповідно до особливостей обладнання та вимог ТП [8].

Комбінований підхід дозволяє використовувати автоматичне генерування складних траєкторій для контурного фрезерування або багатокоординатного оброблення, а стандартні технологічні цикли

свердління, розточування та нарізання різьби вводити безпосередньо в текст програми [11, 13].

Особливо ефективним є використання комбінованого методу під час роботи з сучасними системами керування FANUC та Siemens. У таких системах програміст може замінювати довгі фрагменти автоматично згенерованого коду стандартними циклами оброблення, що значно скорочує обсяг програми та підвищує її наочність [12, 14].

Застосування комбінованого підходу забезпечує швидку підготовку керуючих програм, збереження високої точності оброблення та можливість оперативного внесення змін до ТП. Саме тому він є найбільш поширеним у сучасному машинобудівному виробництві [10].

#### 1.3.4 Порівняльний аналіз методів програмування

Для вибору найбільш доцільного способу програмування необхідно враховувати складність деталі, тип обладнання, обсяг виробництва та вимоги до точності оброблення.

У таблиці 1.3 наведено порівняння основних методів програмування обладнання з ЧПК.

Таблиця 1.3 – Порівняння основних методів програмування

Критерій	Ручне програмування	САМ-програмування	Комбінований метод
1	2	3	4
час створення програми	великий	малий	середній
складність освоєння	низька	висока	середня
оброблення складних поверхонь	обмежене	ефективне	ефективне

## Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
контроль над кодом	повний	частковий	високий
можливість оптимізації	висока	середня	висока
використання циклів ЧПК	максимальне	обмежене	максимальне

Аналіз наведених характеристик показує, що ручне програмування залишається ефективним для простих ТО та навчальних завдань. САМ-системи є найбільш доцільними для складних деталей із великою кількістю поверхонь та складною геометрією. Водночас комбінований метод дозволяє поєднати переваги обох підходів і забезпечити високу ефективність програмування в умовах сучасного виробництва [8, 15].

Існуючі методи програмування ЧПК відрізняються рівнем автоматизації, складністю використання та сферою застосування. Найбільш перспективним підходом є комбінований метод, який дозволяє використовувати можливості сучасних САМ-систем разом із перевагами ручного програмування та стандартних циклів оброблення. Саме застосування циклів у структурі керуючих програм забезпечує скорочення обсягу коду, спрощення його редагування та підвищення надійності виконання ТО, що є важливим для подальшого дослідження у межах даної роботи [11, 13, 15].

#### 1.4 Цикли оброблення у керуючих програмах

Однією з найважливіших особливостей сучасних систем ЧПК є наявність стандартних циклів оброблення, які дозволяють автоматизувати виконання типових ТО. Цикл оброблення являє собою спеціалізовану

підпрограму, вбудовану в систему ЧПК, яка виконує заздалегідь визначену послідовність рухів інструмента відповідно до заданих параметрів. Використання циклів значно спрощує процес програмування, скорочує обсяг керуючої програми та підвищує її надійність [11, 12].

На ранніх етапах розвитку систем ЧПК усі переміщення інструмента необхідно було програмувати окремими кадрами. Для виконання навіть простих операцій свердління програмісту доводилося задавати координати підведення інструмента, робочого руху, відведення та переходу до наступної позиції. При великій кількості однакових елементів це призводило до значного збільшення обсягу програмного коду та підвищення ймовірності помилок. Впровадження стандартних циклів дозволило вирішити цю проблему шляхом автоматизації повторюваних послідовностей команд [13].

Основна перевага циклів полягає у тому, що програміст задає лише необхідні технологічні параметри, тоді як усі допоміжні переміщення система керування виконує автоматично. Це спрощує розроблення програм, скорочує час підготовки виробництва та підвищує ефективність використання обладнання [15].

Залежно від призначення цикли можна поділити на кілька основних груп (рисунок 1.3):

- цикли свердління;
- цикли розточування;
- цикли нарізання різьби;
- цикли фрезерування контурів;
- цикли кишенькової обробки;
- вимірювальні та допоміжні цикли [12].

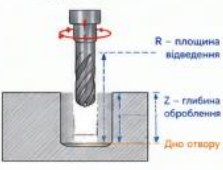

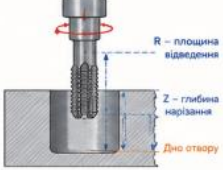
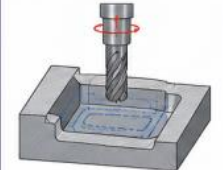
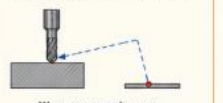

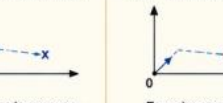



ЦИКЛИ ОБРОБЛЕННЯ В СИСТЕМАХ ЧПК					
<b>1. ЦИКЛИ СВЕРДЛІННЯ</b> G81 – свердління G82 – свердління з витримкою G83 – глибоке свердління G73 – швидкісне глибоке свердління  <p>Виконання отворів заданої глибини з автоматичним підведенням та відведенням інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y – координати отвору</li> <li>• Z – глибина свердління</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – подача</li> </ul>	<b>2. ЦИКЛИ РОЗТОЧУВАННЯ</b> G85 – розточування G86 – розточування з витримкою G87 – розточування з відведенням G89 – розточування з витримкою та відведенням  <p>Розширення та оброблення отворів з підвищеною точністю та якістю поверхні.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y – координати отвору</li> <li>• Z – глибина розточування</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – подача</li> <li>• P – час витримки (для G86, G89)</li> </ul>	<b>3. ЦИКЛИ НАРІЗАННЯ РІЗЬБИ</b> G84 – нарізання різьби мітчиком G32 – нарізання різьби (токарні) G76 – нарізання різьби багатопрохідне  <p>Нарізання внутрішньої або зовнішньої різьби з синхронізацією обертання шпинделя та подачі.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y (або X) – координати</li> <li>• Z – глибина нарізання</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – крок різьби</li> <li>• S – частота обертання шпинделя</li> </ul>	<b>4. ЦИКЛИ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ</b> G41/G42 – корекція радіуса інструмента G40 – скасування корекції G01 – лінійна інтерполяція G02/G03 – кругова інтерполяція  <p>Оброблення зовнішніх та внутрішніх контурів із застосуванням корекції радіуса інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Координати опорних точок контуру</li> <li>• G41/G42 – напрямок корекції</li> <li>• F – подача</li> <li>• S – частота обертання шпинделя</li> </ul>	<b>5. ЦИКЛИ КИШЕНЬКОВОЇ ОБРОБКИ</b> G15 – прямокутна кишеня G16 – кругла кишеня G17 – довільна кишеня G18 – острівцець  <p>Вибір матеріалу всередині контуру (кишені) з оптимізацією траєкторії руху інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Габарити кишені (довжина, ширина, радіус тощо)</li> <li>• Глибина оброблення</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Крок зміщення (step over)</li> <li>• Тип входу/виходу інструмента</li> </ul>	
<b>6. ДОПОМІЖНІ ТА ІНШІ ЦИКЛИ</b>					
<b>G00 – швидке позионування</b>  <p>Швидке переміщення інструмента між позиціями.</p>	<b>G04 – витримка часу</b>  <p>Затримка виконання на заданий час.</p>	<b>G28 – повернення в нуль</b>  <p>Повернення інструмента в початкову точку верстата.</p>	<b>G30 – друга нульова точка</b>  <p>Переміщення в задану нульову точку верстата.</p>	<b>G53 – переміщення в машинних координатах</b>  <p>Переміщення без урахування робочих систем координат.</p>	<b>M05, M08, M09 тощо</b>  <p>Керування шпинделем, охолодженням, зміною інструмента та ін.</p>
Цикли свердління	Цикли розточування	Цикли нарізання різьби	Контурні цикли	Кишенькові цикли	Допоміжні цикли

Рисунок 1.3 – Основні цикли оброблення в системах ЧПК

### 1.4.1 Цикли свердління

Цикли свердління належать до найбільш поширених стандартних циклів у системах ЧПК. Вони використовуються для автоматизованого виконання отворів різного призначення та конфігурації. Найчастіше такі цикли застосовуються на фрезерних оброблювальних центрах та свердлильних верстатах з ЧПК [11].

Найпростішим є цикл G81, який призначений для звичайного свердління отворів на задану глибину. Після виклику циклу система автоматично виконує швидке підведення інструмента до поверхні заготовки, робочий рух на необхідну глибину та повернення до початкової площини.

Приклад використання циклу G81: G81 X50 Y30 Z-20 R5 F120, де X50 Y30 – координати отвору; Z-20 – глибина свердління; R5 – безпечна площина підведення інструмента; F120 – подача [12].

Для глибокого свердління використовуються цикли G83 або аналогічні цикли систем Siemens. Особливістю такого циклу є поетапне заглиблення

свердла з періодичним відведенням для видалення стружки. Це забезпечує кращі умови різання та зменшує ризик поломки інструмента [13].

Широко використовуються також цикли G82 та G73. Цикл G82 передбачає витримку інструмента на дні отвору для покращення якості поверхні, а цикл G73 застосовується для швидкісного глибокого свердління з частковим відведенням інструмента [15].

Використання циклів свердління дозволяє скоротити кількість програмних кадрів у декілька разів порівняно з ручним програмуванням кожного переміщення інструмента. Це особливо важливо під час оброблення деталей із великою кількістю отворів [11].

#### 1.4.2 Цикли розточування

Після свердління часто виникає необхідність підвищення точності або якості поверхні отвору. Для цього використовуються цикли розточування, які забезпечують автоматизоване виконання відповідних ТО [12].

Одним із найбільш поширених є цикл G85, який забезпечує робочий рух інструмента до заданої глибини та його повернення з робочою подачею. Такий підхід дозволяє отримувати більш якісну поверхню порівняно зі швидким відведенням інструмента [13].

Для високоточних отворів використовуються цикли G86, G87 та G89. Вони можуть включати зупинку шпинделя на дні отвору, витримку часу або спеціальні режими відведення інструмента. Використання таких циклів забезпечує досягнення високих показників точності та шорсткості поверхні [15].

Перевагою застосування циклів розточування є стандартизація процесу оброблення. Технолог може задавати лише основні параметри ТО, а система автоматично формує оптимальну послідовність рухів інструмента [11].

#### 1.4.3 Цикли нарізання різьби

Важливе місце серед стандартних циклів займають цикли нарізання

різьби. Вони використовуються для виготовлення внутрішніх та зовнішніх різьб різного профілю і забезпечують синхронізацію руху інструмента з обертанням шпинделя [12].

У фрезерних системах ЧПК для нарізання різьби мітчиком широко застосовується цикл G84. Після досягнення необхідної глибини система автоматично змінює напрямок обертання шпинделя та виконує виведення інструмента з отвору [13].

Для токарних верстатів використовуються спеціальні цикли різьбонарізання, наприклад G32, G76 або їх аналоги. Такі цикли автоматично формують необхідний профіль різьби та виконують кілька проходів із поступовим збільшенням глибини різання [16].

Перевага використання циклів нарізання різьби полягає у високій точності синхронізації подачі та частоти обертання шпинделя. Це забезпечує стабільний крок різьби та високу якість готового виробу [12].

#### 1.4.4 Цикли контурного фрезерування

Сучасне виробництво значною мірою пов'язане з виготовленням деталей складної геометричної форми. Для таких завдань використовуються цикли контурного фрезерування, які дозволяють автоматизувати оброблення зовнішніх та внутрішніх контурів [14].

Контурна обробка передбачає рух інструмента по заданій траєкторії з дотриманням необхідної точності та параметрів різання. У системах Siemens, FANUC та інших сучасних ЧПК реалізовано спеціальні високорівневі цикли контурного фрезерування, які автоматично розраховують допоміжні переміщення інструмента та оптимізують траєкторію руху [13].

Застосування таких циклів особливо ефективно під час виготовлення корпусних деталей, прес-форм та штампів, де необхідно обробляти складні криволінійні поверхні [19].

Однією з важливих переваг контурних циклів є можливість автоматичної компенсації радіуса інструмента та оптимізації режимів різання

залежно від геометрії деталі [15].

#### 1.4.6 Цикли кишенькової обробки

Під час виготовлення багатьох деталей виникає необхідність створення внутрішніх порожнин, пазів та вибірок матеріалу. Для цього використовуються цикли кишенькової обробки, які забезпечують автоматизоване видалення матеріалу всередині заданого контуру [13].

Кишенькова обробка є однією з найскладніших операцій фрезерування, оскільки потребує побудови раціональної траєкторії руху інструмента. Сучасні системи ЧПК автоматично визначають оптимальний шлях інструмента, мінімізують холості переміщення та забезпечують рівномірне навантаження на різальний інструмент [14].

Використання циклів кишенькової обробки дозволяє значно скоротити час програмування та підвищити ефективність використання обладнання. Особливо важливими такі цикли є під час виготовлення корпусних деталей, елементів прес-форм та інших виробів складної конструкції [19].

#### 1.4.5 Переваги використання циклів оброблення

Застосування стандартних циклів оброблення забезпечує низку важливих переваг. Насамперед суттєво скорочується обсяг керуючої програми. Замість десятків або навіть сотень кадрів програміст задає лише декілька параметрів циклу, що робить програму більш компактною та зрозумілою [15].

Крім того, використання циклів знижує ймовірність програмних помилок, оскільки основна логіка роботи вже реалізована розробниками системи ЧПК та багаторазово перевірена в промислових умовах [11].

Важливою перевагою є також спрощення редагування програм. У разі зміни глибини отвору, координат оброблення або режимів різання достатньо змінити лише параметри циклу без необхідності переписування великої кількості програмних кадрів [13].

Застосування циклів сприяє стандартизації ТП, скороченню часу підготовки виробництва та підвищенню продуктивності праці програмістів і операторів обладнання з ЧПК [12].

Цикли оброблення є важливим інструментом сучасного програмування обладнання з ЧПК. Вони забезпечують автоматизацію виконання типових ТО, скорочують обсяг програмного коду, підвищують надійність керуючих програм та спрощують їх супровід. Саме використання стандартних циклів свердління, розточування, нарізання різьби, контурної та кишенькової обробки є одним із ключових напрямів підвищення ефективності програмування ЧПК.

### 1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи проведено аналіз сучасних методів програмування обладнання з ЧПК та досліджено особливості використання стандартних циклів оброблення під час створення керуючих програм. Встановлено, що верстати з ЧПК є невід'ємною складовою сучасного автоматизованого виробництва та забезпечують високу точність, продуктивність і стабільність виконання ТО. Завдяки використанню програмного керування значно зменшується вплив людського фактора на результати оброблення, підвищується якість готової продукції та забезпечується ефективне використання виробничих ресурсів.

Проведений аналіз показав, що обладнання з ЧПК характеризується широкими функціональними можливостями та використовується для виконання різноманітних операцій механічного оброблення. Сучасні токарні, фрезерні та багатоопераційні оброблювальні центри дозволяють виконувати складні ТП в автоматичному режимі, забезпечуючи високу точність позиціонування інструмента та повторюваність результатів оброблення. Значною перевагою такого обладнання є можливість інтеграції із сучасними CAD/CAM-системами, що сприяє скороченню часу підготовки виробництва

та підвищенню ефективності програмування [9].

У результаті дослідження структури керуючих програм встановлено, що вони являють собою послідовність стандартизованих команд, які містять інформацію про координатні переміщення інструмента, режими різання та допоміжні функції керування обладнанням. Основу програм становлять підготовчі G-коди та допоміжні M-коди, які забезпечують формування траєкторії руху інструмента, вибір режимів роботи та керування ТО. Важливе значення для правильного функціонування програми мають система координат, нульові точки деталі та корекції інструмента, які забезпечують точність виконання оброблення.

Порівняння основних методів програмування ЧПК показало, що кожен із них має власні переваги та обмеження. Ручне програмування забезпечує максимальний контроль над структурою керуючої програми та дозволяє ефективно реалізовувати прості ТО. Використання САМ-систем значно спрощує створення програм для складних деталей та забезпечує автоматичне формування траєкторій руху інструмента. Найбільш універсальним підходом є комбінований метод програмування, який поєднує можливості автоматизованого проектування та ручного редагування програм відповідно до особливостей конкретного ТП.

Особливу увагу приділено аналізу стандартних циклів оброблення, які є одним із найбільш ефективних інструментів сучасного програмування обладнання з ЧПК. Встановлено, що цикли свердління, розточування, нарізання різьби, контурного та кишенькового фрезерування дозволяють значно скоротити обсяг програмного коду та підвищити зручність його супроводу. Завдяки використанню циклів програмісту достатньо задати основні технологічні параметри, тоді як усі допоміжні переміщення інструмента виконуються автоматично засобами системи керування.

Проведений аналіз також показав, що використання циклів оброблення сприяє підвищенню надійності керуючих програм. Скорочення кількості програмних кадрів зменшує ймовірність помилок під час програмування та

полегшує процес перевірки й налагодження програм. Крім того, застосування стандартних циклів забезпечує уніфікацію програмування, що особливо важливо в умовах серійного та багатомономенклатурного виробництва [12, 14].

Важливою перевагою циклів є можливість швидкого внесення змін до керуючої програми. У разі зміни геометричних параметрів деталі або технологічних режимів оброблення достатньо скоригувати окремі параметри циклу без необхідності переписування великої кількості кадрів програми. Це дозволяє суттєво скоротити час підготовки виробництва та підвищити гнучкість ТП.

Результати виконаного аналізу свідчать про доцільність широкого використання стандартних циклів оброблення під час створення керуючих програм для обладнання з ЧПК. Саме застосування циклів забезпечує поєднання високої ефективності програмування, надійності роботи обладнання та зручності супроводу програм у процесі експлуатації.

## **2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИКЛІВ**

### **2.1 Аналіз деталі та вихідних даних для розроблення програми**

Розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК починається з аналізу деталі, її геометричних параметрів, матеріалу заготовки, вимог до точності та якості оброблених поверхонь. На цьому етапі визначаються основні конструктивні елементи деталі, послідовність їх оброблення, необхідні інструменти, режими різання та доцільність використання стандартних циклів оброблення.

У межах даної роботи як об'єкт програмування доцільно розглядати деталь типу «плита» або «корпусна деталь», яка містить плоскі поверхні, наскрізні та глухі отвори, пази, кишені та різьбові отвори. Така деталь є зручною для демонстрації можливостей стандартних циклів ЧПК, оскільки під час її виготовлення можна застосувати цикли свердління, глибокого свердління, розточування, нарізання різьби та фрезерування кишень.

Геометрія деталі повинна містити декілька типових елементів, які часто зустрічаються у виробництві. До таких елементів належать базова площина, зовнішній контур, система кріпильних отворів, центральний отвір, прямокутна або кругла кишеня, технологічні пази та різьбові отвори. Наявність таких елементів дозволяє побудувати повноцінний маршрут оброблення та обґрунтувати застосування різних стандартних циклів у керуючій програмі.

Матеріалом заготовки може бути алюмінієвий сплав або конструкційна сталь. Для навчального та дослідного прикладу доцільно обрати алюмінієвий сплав, оскільки він добре обробляється різанням, має відносно невеликий опір різанню та дозволяє використовувати підвищені швидкості оброблення. Це спрощує вибір режимів різання та зменшує навантаження на інструмент і

обладнання.

Вихідними даними для розроблення керуючої програми є креслення деталі, матеріал заготовки, тип обладнання з ЧПК, система керування, перелік доступного ріжучого інструменту, припуски на оброблення, вимоги до точності розмірів і шорсткості поверхонь. Крім того, необхідно враховувати спосіб закріплення заготовки, положення нульової точки деталі, безпечні висоти переміщення інструмента та обмеження робочої зони верстата.

Для подальшого розроблення програми можна прийняти заготовку прямокутної форми розміром  $120 \times 80 \times 20$  мм (рисунок 2.1). Оброблювана деталь має зовнішній контур, чотири кріпильні отвори діаметром 8 мм, один центральний отвір діаметром 20 мм, прямокутну кишеню глибиною 5 мм та два різьбові отвори М6. Така конфігурація дозволяє використати декілька типових технологічних переходів і продемонструвати переваги застосування циклів оброблення.

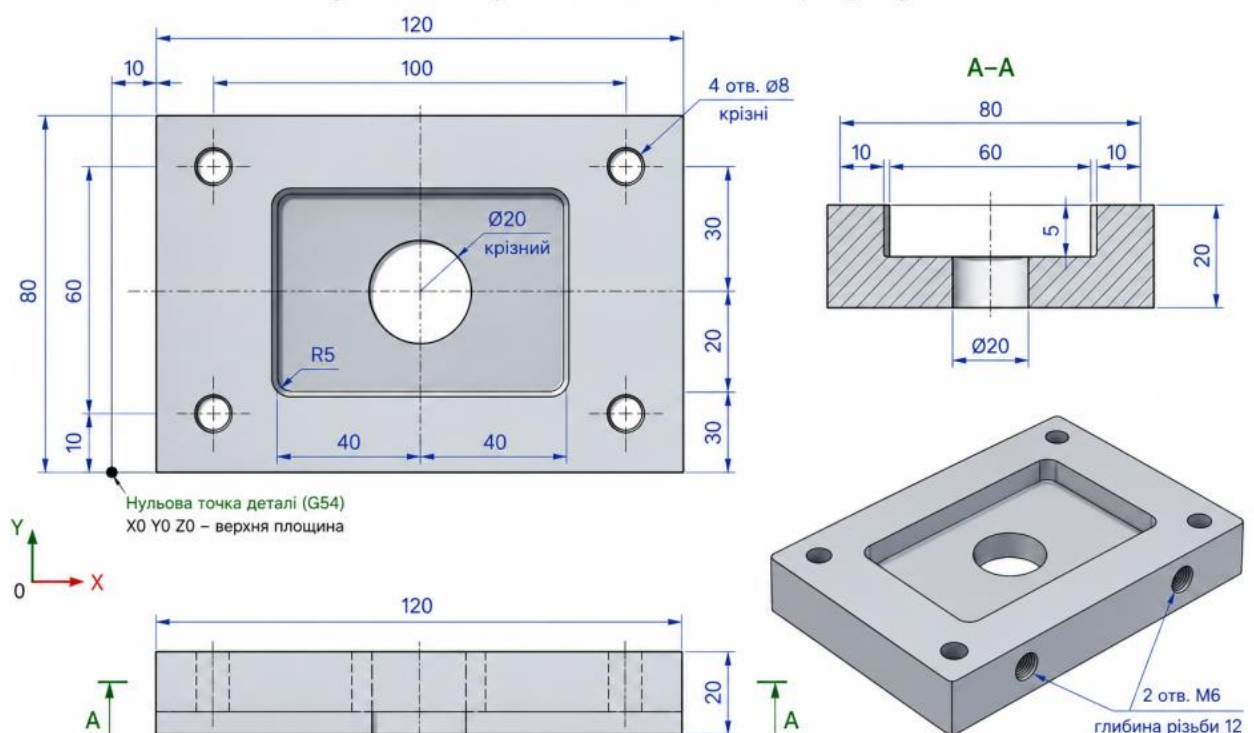


Рисунок 2.1 – Креслення заготовки прямокутної форми розміром  $120 \times 80 \times 20$  мм

Основними поверхнями деталі є верхня площина, бічні поверхні зовнішнього контуру, поверхні отворів, дно та стінки кишені, а також різьбові поверхні. Верхня площина використовується як технологічна база для встановлення нульової точки по осі Z, а один із кутів деталі або центр заготовки може бути прийнятий як нульова точка в площині XY. Вибір системи координат повинен забезпечувати зручність програмування, мінімальну кількість розрахунків та однозначність позиціонування інструмента.

Під час аналізу деталі необхідно визначити, які поверхні потребують чорнового та чистового оброблення. Зовнішній контур і кишеня зазвичай обробляються у два етапи: спочатку виконується чорнове видалення основного припуску, після чого проводиться чистове фрезерування для досягнення необхідної точності та якості поверхні. Отвори можуть виконуватися свердлінням, розточуванням або розгортанням залежно від вимог до точності.

Для кріпильних отворів діаметром 8 мм доцільно застосувати стандартний цикл свердління G81, оскільки такі отвори не мають значної глибини та не потребують поетапного виведення стружки. Для глибших отворів або отворів, що потребують кращого видалення стружки, доцільним є використання циклу глибокого свердління G83. Для різьбових отворів M6 можна використати цикл нарізання різьби G84, який забезпечує синхронізацію обертання шпинделя та осьової подачі інструмента.

Центральний отвір діаметром 20 мм може бути попередньо просвердлений, а потім розточений або оброблений фрезеруванням по колу. Вибір способу залежить від наявного інструменту та вимог до точності. Якщо необхідна підвищена точність і якість поверхні, доцільно застосувати цикл розточування або контурну обробку з використанням кінцевої фрези.

Прямокутна кишеня є важливим елементом деталі, оскільки її оброблення дозволяє продемонструвати застосування циклів кишенькового фрезерування або програмування траєкторії видалення матеріалу. Для такої

операції необхідно визначити глибину кишені, радіуси кутів, припуск на чистову обробку та крок проходів інструмента. Використання циклу кишенькової обробки дозволяє зменшити обсяг програми та спростити формування траєкторії руху інструмента.

Під час підготовки вихідних даних важливо враховувати технологічні обмеження. До них належать максимальні переміщення по осях X, Y, Z, допустима частота обертання шпинделя, максимальна подача, жорсткість системи «верстат – пристосування – інструмент – заготовка», а також умови відведення стружки та подачі охолоджувальної рідини. Неврахування цих факторів може призвести до зниження точності, погіршення якості поверхні або виникнення аварійної ситуації.

Результатом аналізу деталі є формування повного набору вихідних даних для розроблення керуючої програми. На основі цих даних визначається послідовність ТО, обираються інструменти, призначаються режими різання та встановлюються стандартні цикли, які будуть використані у програмі. Таким чином, якісний аналіз деталі є необхідною умовою створення ефективної, безпечної та зручної для редагування керуючої програми ЧПК.

## 2.2 Вибір обладнання, інструменту та системи ЧПК

Після аналізу конструкції деталі та визначення основних технологічних переходів необхідно обґрунтувати вибір обладнання, ріжучого інструменту та системи ЧПК. Правильний вибір цих складових безпосередньо впливає на точність оброблення, продуктивність виробництва, якість готової продукції та ефективність реалізації керуючої програми. Крім того, вибір обладнання визначає набір доступних функцій програмування, включаючи використання стандартних циклів оброблення, корекцій інструмента та засобів автоматичного контролю процесу [2, 7].

Для виготовлення деталі, що містить плоскі поверхні, отвори, різьбові елементи та прямокутну кишеню, доцільно використовувати вертикальний фрезерний оброблювальний центр з ЧПК (рисунок 3.2). Таке обладнання забезпечує виконання більшості необхідних ТО у межах одного встановлення заготовки, що сприяє підвищенню точності взаємного розташування поверхонь і скороченню допоміжного часу [7].



Рисунок 2.2 – Структура обраного технологічного обладнання

Для реалізації поставленого завдання обрано вертикальний оброблювальний центр типу VMC (Vertical Machining Center), оснащений автоматичною зміною інструмента та трьома керованими координатними осями X, Y і Z. Подібне обладнання широко використовується в сучасному виробництві завдяки універсальності, високій жорсткості конструкції та можливості виконання широкого спектра операцій механічної обробки [4].

Основні технічні характеристики обраного верстата з ЧПК наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики оброблювального центру

Параметр	Значення
тип верстата	вертикальний оброблювальний центр
кількість осей	3
робочий хід по осі X	800 мм
робочий хід по осі Y	500 мм
робочий хід по осі Z	500 мм
максимальна частота обертання шпинделя	8000 об/хв
потужність шпинделя	11 кВт
місткість магазину інструментів	24 позиції
точність позиціонування	$\pm 0,005$ мм

Розміри деталі є значно меншими за габарити робочої зони верстата, тому забезпечуються необхідні умови для безпечного виконання всіх переміщень інструмента та використання стандартних циклів свердління, нарізання різьби і кишенькової обробки. Наявність автоматичного магазину інструментів дозволяє виконувати декілька операцій без втручання оператора, що відповідає сучасним вимогам автоматизованого виробництва.

Важливим елементом технологічної системи є пристосування для закріплення заготовки. Для розглянутої деталі доцільно використовувати машинні лещата з механічним або гідравлічним затиском. Таке рішення забезпечує достатню жорсткість закріплення та можливість швидкого встановлення заготовки на робочому столі верстата. Для підвищення точності базування можуть застосовуватися паралельні підкладки та спеціальні упори [6].

Наступним етапом є вибір ріжучого інструменту. Для виконання всіх операцій оброблення необхідно використовувати комплект інструментів, який забезпечить фрезерування площин, оброблення кишень, свердління отворів та нарізання різьби.

Для оброблення верхньої площини деталі використовується торцева фреза діаметром 50 мм із твердосплавними змінними пластинами. Такий інструмент забезпечує високу продуктивність під час чорнової та напівчистої обробки плоских поверхонь [6].

Для контурного фрезерування та оброблення прямокутної кишені доцільно застосувати кінцеву твердосплавну фрезу діаметром 10 мм. Використання такого інструмента дозволяє забезпечити необхідну точність геометричних розмірів та отримати якісну поверхню після оброблення [7].

Для виконання отворів діаметром 8 мм використовується спіральне свердло відповідного діаметра. При цьому програмування операції здійснюється за допомогою стандартного циклу свердління G81. Якщо глибина отворів перевищує три діаметри свердла, доцільним є застосування циклу глибокого свердління G83 для покращення видалення стружки [12].

Центральний отвір діаметром 20 мм може бути отриманий за допомогою свердла меншого діаметра з подальшим розточуванням або круговим фрезеруванням. Для підвищення точності рекомендується використання розточувальної оправки або кінцевої фрези з контурною обробкою [13].

Для виконання різьбових отворів M6 використовується машинний мітчик M6, призначений для роботи на верстатах з ЧПК. Нарізання різьби виконується за допомогою циклу G84, який автоматично синхронізує подачу інструмента з частотою обертання шпинделя та забезпечує високу якість різьбового профілю [12].

Перелік інструментів наведено в таблиці 2.2.

Особливу увагу необхідно приділити вибору системи ЧПК. У сучасному виробництві найбільш поширеними є системи FANUC, Siemens SINUMERIK, Heidenhain та Mitsubishi CNC [8]. Кожна з них підтримує міжнародні стандарти програмування та має власні особливості реалізації циклів оброблення.

Таблиця 2.2 – Комплект ріжучого інструменту

№	Інструмент	Призначення
T01	торцева фреза Ø50 мм	оброблення площин
T02	кінцева фреза Ø10 мм	контурне фрезерування та кишень
T03	свердло Ø8 мм	свердління кріпильних отворів
T04	свердло Ø18 мм	попереднє свердління центрального отвору
T05	розточувальний інструмент	чистове оброблення отвору Ø20 мм
T06	мітчик М6	нарізання різьби

Для даної роботи доцільно використовувати систему керування FANUC Series 0i-MF, яка широко застосовується на сучасних фрезерних оброблювальних центрах. Основними перевагами цієї системи є висока надійність, простота програмування, підтримка великої кількості стандартних циклів та сумісність із більшістю САМ-систем [11].

Система FANUC підтримує цикли свердління G81 – G89, цикли нарізання різьби G84, корекцію радіуса інструмента G41/G42, робочі системи координат G54 – G59 та інші функції, необхідні для реалізації поставленого завдання [12]. Це дозволяє створювати компактні керуючі програми та ефективно використовувати можливості обладнання.

Крім того, система FANUC має розвинені засоби діагностики та перевірки програм, що значно спрощує процес налагодження та зменшує ризик виникнення помилок під час оброблення. Підтримка підпрограм і параметричного програмування додатково розширює можливості автоматизації ТП [11].

Для реалізації керуючої програми обрано вертикальний фрезерний оброблювальний центр із системою керування FANUC та комплектом ріжучого інструменту, який забезпечує виконання всіх необхідних ТО. Прийняті технічні рішення відповідають конструктивним особливостям деталі, забезпечують можливість використання стандартних циклів

оброблення та створюють необхідні умови для подальшого розроблення ефективної керуючої програми ЧПК.

### 2.3 Розроблення маршруту оброблення деталі

Розроблення маршруту оброблення деталі є одним із ключових етапів підготовки керуючої програми для обладнання з ЧПК. Від правильності побудови технологічного маршруту залежить не лише якість готового виробу, але й ефективність використання обладнання, тривалість виробничого циклу, витрати інструменту та стабільність процесу оброблення. Маршрут оброблення являє собою впорядковану послідовність ТО і переходів, що забезпечують перетворення вихідної заготовки на готову деталь із заданими геометричними параметрами та експлуатаційними характеристиками [1, 6].

Основною метою розроблення маршруту є визначення найбільш раціональної послідовності виконання операцій, яка дозволить забезпечити необхідну точність оброблення при мінімальних витратах часу та ресурсів. Під час побудови маршруту необхідно враховувати конструкцію деталі, матеріал заготовки, тип обладнання, можливості системи ЧПК, характеристики інструментів та вимоги до точності й шорсткості поверхонь.

Для деталі, що розглядається у роботі, характерними конструктивними елементами є зовнішній прямокутний контур, плоскі базові поверхні, система кріпильних отворів, центральний отвір великого діаметра, різьбові отвори та прямокутна кишеня. Наявність таких елементів дозволяє використати практично всі основні типи циклів оброблення, які реалізовані в сучасних системах ЧПК [12].

Розроблення маршруту починається з аналізу креслення деталі та визначення технологічних баз. Правильний вибір базових поверхонь має важливе значення для забезпечення точності взаємного розташування всіх елементів виробу. Як правило, за основну базу приймається нижня площина

заготовки, яка забезпечує стійке встановлення деталі у пристосуванні. Додатковими базами виступають дві взаємно перпендикулярні бокові поверхні, що визначають положення деталі по координатах X та Y [6].

Після вибору базування виконується визначення технологічних припусків. Припуски необхідні для компенсації похибок отримання заготовки та забезпечення можливості чорнового і чистового оброблення. Для алюмінієвої заготовки товщиною 20 мм доцільно передбачити припуск на фрезерування площин у межах 0,5–1,0 мм, а для контурних поверхонь – близько 0,5 мм на сторону. Такий підхід дозволяє отримати необхідну точність без надмірного навантаження на інструмент [1].

На рисунку 2.3 наведено загальну схему технологічного маршруту оброблення деталі на верстаті з ЧПК.

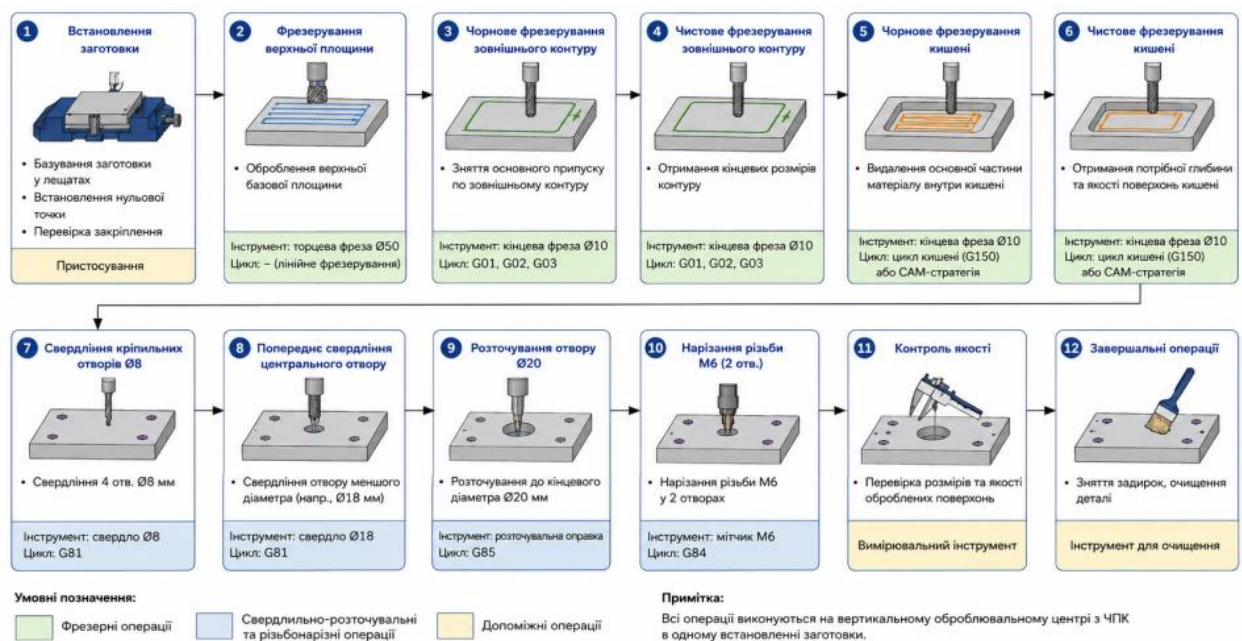


Рисунок 2.3 – Загальна схема технологічного маршруту оброблення деталі на верстаті з ЧПК

Першою ТО маршруту є підготовка заготовки до оброблення. На цьому етапі виконується встановлення деталі в лещатах, перевірка правильності базування, налаштування системи координат та введення корекцій

інструментів. Одночасно визначається положення робочої нульової точки G54, яка буде використовуватися під час виконання всієї програми [8].

Наступним етапом є фрезерування верхньої площини. Ця операція виконується першою, оскільки саме верхня площина надалі використовується як технологічна база по осі Z. Для оброблення використовується торцева фреза великого діаметра, що забезпечує високу продуктивність і рівномірний розподіл навантаження між різальними пластинами. У результаті виконання операції формується базова поверхня з необхідною точністю та шорсткістю [7].

Після створення базової площини виконується оброблення зовнішнього контуру деталі. На першому етапі проводиться чорнове контурне фрезерування із залишенням припуску для чистового проходу. Основною метою чорнкової обробки є видалення основної частини матеріалу та формування загальних геометричних контурів виробу. Далі здійснюється чистове фрезерування, під час якого досягаються кінцеві розміри та забезпечується необхідна якість поверхні [6].

Особливу увагу в маршруті приділено обробленню прямокутної кишені. Такий елемент деталі характеризується значним обсягом матеріалу, що видаляється, тому операція виконується у декілька проходів. Спочатку здійснюється чорнова вибірка матеріалу з використанням спіральної або зигзагоподібної траєкторії інструмента. Після досягнення необхідної глибини виконується чистове оброблення дна та стінок кишені. Використання спеціалізованих циклів кишенькової обробки дозволяє автоматизувати побудову траєкторії інструмента та скоротити обсяг програмного коду [13].

Після завершення фрезерних операцій виконується група свердлильних переходів. Спочатку обробляються кріпильні отвори діаметром 8 мм. Оскільки всі отвори мають однакові параметри, їх доцільно виконувати за допомогою циклу G81, що дозволяє програмувати лише координати отворів без опису кожного окремого переміщення інструмента [12].

Для підвищення продуктивності всі отвори групуються в межах однієї операції. Такий підхід мінімізує кількість змін інструмента та скорочує непродуктивний час переміщення шпинделя між позиціями оброблення. Крім того, використання циклів забезпечує однакові умови різання для всіх отворів і підвищує їх точність [11].

Після виконання кріпильних отворів здійснюється формування центрального отвору діаметром 20 мм. Оскільки отвір має підвищені вимоги до точності, його оброблення виконується в декілька етапів. Спочатку проводиться попереднє свердління отвору меншого діаметра, що дозволяє знизити навантаження на інструмент. Потім виконується чистове розточування або кругове фрезерування до остаточного розміру. Така схема забезпечує високу точність геометрії та якість поверхні отвору [7].

Наступною операцією є нарізання різьби М6. Для цього використовується машинний мітчик та цикл G84. Застосування автоматичного циклу дозволяє синхронізувати обертання шпинделя та подачу інструмента, що є необхідною умовою формування якісного різьбового профілю. Використання циклу також забезпечує автоматичний реверс шпинделя після досягнення заданої глибини різьби [12].

Після завершення всіх операцій механічного оброблення проводиться контроль геометричних параметрів деталі. Перевіряються зовнішні розміри, положення отворів, глибина кишені, діаметри та якість різьбових поверхонь. За необхідності виконуються додаткові оздоблювальні операції, такі як зняття фасок або видалення задирок [1].

Для підвищення ефективності маршруту всі операції згруповані за принципом мінімізації змін інструмента. Спочатку виконуються всі переходи торцевою фрезою, потім кінцевою фрезою, після чого послідовно використовуються свердла, розточувальний інструмент та мітчик. Такий підхід скорочує допоміжний час і сприяє підвищенню продуктивності оброблення [6].

Розроблений маршрут забезпечує раціональну організацію ТП та повною мірою враховує можливості сучасного обладнання з ЧПК. Послідовність операцій дозволяє максимально використовувати стандартні цикли свердління, розточування, нарізання різьби та кишенькової обробки, що відповідає основній меті роботи – створенню ефективної керуючої програми з використанням циклів оброблення. Запропонований маршрут забезпечує високу точність виготовлення деталі, зменшує обсяг програмного коду та спрощує подальше налагодження і супровід керуючої програми.

#### 2.4 Вибір циклів оброблення для реалізації технологічних переходів

Одним із головних завдань під час розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК є вибір оптимальних циклів оброблення для реалізації технологічних переходів. Від правильності вибору циклів залежить не лише працездатність програми, але й її компактність, зручність редагування, надійність виконання та ефективність використання виробничого обладнання. Використання стандартних циклів дозволяє значно скоротити кількість програмних кадрів, автоматизувати виконання повторюваних операцій і знизити ймовірність виникнення помилок під час програмування [11, 12].

Сучасні системи ЧПК, зокрема FANUC, Siemens SINUMERIK та Heidenhain, містять широкий набір стандартних циклів для виконання типових операцій механічного оброблення. Такі цикли реалізують заздалегідь визначені алгоритми переміщення інструмента та дозволяють програмісту задавати лише основні технологічні параметри: координати, глибину оброблення, величину подачі, висоту безпечного підведення тощо.

Під час розроблення керуючої програми для деталі, що розглядається у даній роботі, необхідно реалізувати декілька основних ТО: фрезерування площин, контурне фрезерування, оброблення кишені, свердління отворів, оброблення центрального отвору та нарізання різьби (рисунок 2.4). Для

кожної з цих операцій доцільно використати відповідні цикли або спеціалізовані режими програмування.

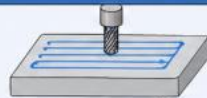

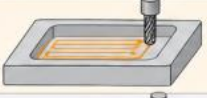
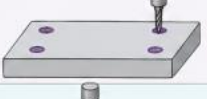


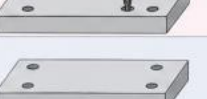

№ п/п	Технологічний перехід	Ескіз оброблення	Використовуваний цикл	Позначення циклу (для ЧПК FANUC)	Основні параметри циклу
1	Фрезерування верхньої площини		Лінійне фрезерування (без циклу)	<b>G01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Подача (F)</li> <li>• Швидкість шпинделя (S)</li> <li>• Глибина різання (Z)</li> </ul>
2	Контурне фрезерування зовнішнього контуру		Контурне фрезерування (лінійна та кругова інтерполяція)	<b>G01, G02, G03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Подача (F)</li> <li>• Швидкість шпинделя (S)</li> <li>• Корекція радіуса інструмента (G41/G42)</li> </ul>
3	Оброблення прямокутної кишені (чорнове та чистове)		Цикл кишенькового фрезерування	<b>G150 (Siemens) або цикл кишені (у CAM-системі)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина кишені (Z)</li> <li>• Припуск на чистову обробку</li> <li>• Ширина інструмента</li> <li>• Крок проходу</li> </ul>
4	Свердління отворів Ø8 мм (кріпильні)		Цикл свердління	<b>G81</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина свердління (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Подача (F)</li> </ul>
5	Глибоке свердління (за потреби)		Цикл глибокого свердління	<b>G83</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина свердління (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Крок відводу (Q)</li> </ul>
6	Розточування центрального отвору Ø20 мм		Цикл розточування	<b>G85</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Діаметр отвору</li> <li>• Глибина розточування (Z)</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> </ul>
7	Нарізання різьби М6 (2 отв.)		Цикл нарізання різьби	<b>G84</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина різьби (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Крок різьби (подача F)</li> </ul>
8	Скасування циклу та повернення у звичайний режим		Скасування циклу	<b>G80</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Скасування активного циклу оброблення</li> </ul>

Рисунок 2.4 – Відповідність технологічних переходів циклам оброблення деталі

Першою операцією технологічного переходу є фрезерування верхньої базової площини. Для цієї операції стандартні цикли зазвичай не застосовуються, оскільки траєкторія руху інструмента визначається конкретними розмірами заготовки та параметрами торцевої фрези. У програмі така операція реалізується за допомогою команд лінійної інтерполяції G01 із відповідними координатами переміщення інструмента [8].

Після формування базової площини виконується контурне фрезерування зовнішніх поверхонь деталі. Для реалізації даної операції використовуються команди лінійної та кругової інтерполяції G01, G02 та G03. У сучасних системах ЧПК також можуть застосовуватися спеціалізовані

цикли контурної обробки, які автоматично формують траєкторію інструмента вздовж заданого профілю [13]. Застосування таких циклів особливо ефективно під час оброблення деталей зі складною геометрією, однак для прямокутного контуру достатньо використання стандартних команд інтерполяції.

Особливе значення в даній роботі має операція оброблення прямокутної кишені. Видалення значного обсягу матеріалу всередині замкненого контуру потребує раціонального вибору траєкторії руху інструмента. У системах Siemens та сучасних САМ-системах для цього використовуються спеціальні цикли кишенькового фрезерування, які автоматично розраховують проходи інструмента та забезпечують рівномірне навантаження під час різання [14].

Застосування циклу кишенькової обробки дозволяє отримати такі переваги:

- автоматичне формування траєкторії руху інструмента;
- скорочення обсягу програмного коду;
- оптимізація часу оброблення;
- рівномірне видалення матеріалу;
- підвищення стійкості інструмента.

Для реалізації кишенькової обробки необхідно задати координати контуру, глибину кишені, припуск на чистову обробку та параметри різання. Усі допоміжні переміщення система керування формує автоматично [13].

Наступною групою технологічних переходів є свердління отворів. Для виконання чотирьох кріпильних отворів діаметром 8 мм доцільно використати стандартний цикл свердління G81. Даний цикл є одним із найбільш поширених у системах FANUC та призначений для виконання звичайного свердління без проміжного виведення інструмента [12].

Приклад виклику циклу: G81 X20 Y20 Z-15 R3 F120, де X20 Y20 – координати отвору; Z-15 – глибина свердління; R3 – площина підведення інструмента; F120 – подача.

Після виклику циклу система автоматично виконує підведення інструмента до поверхні заготовки, свердління на задану глибину та повернення у вихідне положення. Для оброблення декількох отворів достатньо задавати лише їх координати, що суттєво скорочує обсяг програми [11].

Якщо необхідно виконувати отвори великої глибини, використовується цикл G83. Особливістю цього циклу є поетапне заглиблення свердла з періодичним виведенням для видалення стружки. Такий підхід забезпечує покращення умов різання та збільшення ресурсу інструмента [12].

Для центрального отвору діаметром 20 мм можливе застосування циклу розточування. У системах FANUC для таких операцій використовуються цикли G85 – G89. Вони забезпечують автоматизоване переміщення розточувального інструмента та виконання необхідних допоміжних дій після досягнення заданої глибини [13].

Особливо ефективним є цикл G85, який виконує подачу інструмента до заданої глибини та його повернення з робочою подачею. Це дозволяє отримати більш якісну поверхню отвору порівняно зі швидким відведенням інструмента [11].

Наступною важливою операцією є нарізання різьби у двох отворах M6. Для реалізації цього переходу використовується цикл G84. Цей цикл забезпечує автоматичну синхронізацію осьового переміщення мітчика із частотою обертання шпинделя та виконує реверс шпинделя після досягнення необхідної глибини [12].

Приклад запису циклу: G84 X80 Y40 Z-12 R3 F1.0, де подача визначається відповідно до кроку різьби. Завдяки автоматичній синхронізації забезпечується висока точність різбового профілю та знижується ризик пошкодження інструмента [13].

Для завершення операцій свердління та різьбонарізання використовується команда G80, яка скасовує активний цикл та повертає систему керування до звичайного режиму програмування [11].

Вибір циклів оброблення здійснювався з урахуванням таких критеріїв:

- відповідність технологічній операції;
- підтримка циклу системою FANUC;
- скорочення обсягу програмного коду;
- простота налагодження;
- надійність виконання операцій;
- зручність подальшого редагування програми.

Для узагальнення результатів вибору циклів складено таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Відповідність технологічних операцій та циклів оброблення

Технологічна операція	Використаний цикл
фрезерування площини	G01
контурне фрезерування	G01, G02, G03
оброблення кишені	цикл кишенькового фрезерування
свердління отворів Ø8 мм	G81
глибоке свердління	G83
розточування отвору Ø20 мм	G85
нарізання різьби M6	G84
скасування циклу	G80

Для реалізації технологічних переходів обрано набір стандартних циклів, які повністю відповідають конструктивним особливостям деталі та можливостям системи керування FANUC. Використання циклів G81, G83, G84 та G85 дозволяє суттєво скоротити обсяг керуючої програми, спростити її структуру та підвищити надійність виконання ТО. Обрані програмні рішення створюють основу для подальшого розроблення повної керуючої програми та її перевірки в середовищі моделювання.

## 2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі роботи виконано розроблення методики створення керуючої програми для обладнання з ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення. Проведений аналіз конструкції деталі та вихідних даних дозволив визначити основні технологічні елементи, які підлягають механічному обробленню, а саме зовнішній контур, базові площини, отвори різного призначення, різьбові елементи та внутрішню кишеню. Встановлено, що конструкція деталі є характерною для сучасного машинобудівного виробництва та дозволяє застосувати широкий спектр стандартних циклів, реалізованих у системах ЧПК.

У процесі аналізу вихідних даних було визначено матеріал заготовки, її геометричні параметри, вимоги до точності оброблення та особливості базування. Встановлено технологічні бази, обрано систему координат та визначено розташування нульової точки деталі. Це створило необхідні передумови для побудови ефективної керуючої програми та забезпечення правильного позиціонування інструмента під час виконання ТО.

На основі конструктивних особливостей деталі обґрунтовано вибір вертикального фрезерного оброблювального центру з системою ЧПК FANUC. Обране обладнання забезпечує необхідну точність позиціонування, достатні розміри робочої зони та підтримку сучасних циклів оброблення. Крім того, наявність автоматичної зміни інструмента дозволяє виконувати всі технологічні переходи в межах одного встановлення заготовки, що сприяє підвищенню продуктивності та точності виготовлення деталі.

Виконано вибір комплекту ріжучого інструменту, який забезпечує реалізацію всіх передбачених ТО. Для оброблення площин і контурів обрано торцеві та кінцеві фрези, для виконання отворів – свердла відповідних діаметрів, а для формування різьби – машинний мітчик. Такий набір інструментів повністю відповідає маршруту оброблення та забезпечує досягнення необхідних показників якості поверхні.

У результаті розроблення маршруту оброблення сформовано раціональну послідовність технологічних переходів, яка передбачає поетапне виконання операцій від створення базових поверхонь до завершального контролю готової деталі. Запропонована структура ТП мінімізує кількість переналагоджень, скорочує допоміжний час та забезпечує стабільність виконання всіх ТО. Особлива увага приділена групуванню переходів за типами інструментів, що дозволяє зменшити кількість автоматичних змін інструмента та підвищити ефективність роботи ТО.

Проведено вибір стандартних циклів оброблення для реалізації технологічних переходів. Для свердління отворів обрано цикл G81, для глибокого свердління – цикл G83, для розточування отворів – цикл G85, а для нарізання різьби – цикл G84. Для контурної та кишенькової обробки використано команди інтерполяції та спеціалізовані цикли фрезерування. Застосування цих циклів дозволяє суттєво скоротити обсяг керуючої програми, підвищити її наочність та зменшити ймовірність виникнення помилок під час програмування.

Отримані результати свідчать про доцільність використання стандартних циклів як основного інструменту автоматизації програмування обладнання з ЧПК. Використання циклів забезпечує спрощення структури програми, прискорює процес її створення та підвищує надійність виконання ТО. Крім того, застосування циклів значно полегшує подальше редагування та супровід програм у виробничих умовах.

## 3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ЧПК

### 3.1 Формування системи координат та налагоджувальних параметрів

Одним із найважливіших етапів підготовки керуючої програми для обладнання з числовим програмним керуванням є формування системи координат та визначення налагоджувальних параметрів. Від правильності виконання цього етапу залежить точність позиціонування інструмента, відповідність фактичних розмірів деталі кресленню, безпечність роботи обладнання та коректність виконання всіх технологічних переходів. Навіть за наявності правильно складеної керуючої програми помилки під час встановлення координатних систем або введення корекцій можуть призвести до браку продукції чи аварійних ситуацій [4, 8].

Сучасні системи ЧПК використовують декілька взаємопов'язаних систем координат. До них належать машинна система координат, робоча система координат, система координат деталі та система координат інструмента. Кожна з них виконує власну функцію та забезпечує правильну організацію процесу керування обладнанням [13].

Машинна система координат є базовою системою, яка визначається конструкцією верстата та встановлюється виробником обладнання. Початок цієї системи координат розташовується у фіксованій точці робочої зони верстата і не може змінюватися користувачем. Після ввімкнення обладнання виконується процедура повернення в референтну точку, під час якої система керування визначає поточне положення всіх координатних осей відносно машинного нуля [4].

Для програмування оброблення безпосередньо використовується робоча система координат. Її положення визначається технологом або оператором відповідно до особливостей конкретної деталі та способу її встановлення на столі верстата. У системах FANUC для цього

використовуються робочі зсуви G54 – G59, які дозволяють задавати декілька незалежних систем координат [12].

У даній роботі як основна використовується система координат G54. Нульова точка деталі розташована у лівому нижньому куті верхньої площини заготовки, що було прийнято ще під час розроблення креслення та технологічного маршруту. Таке розташування має декілька переваг. По-перше, значно спрощується розрахунок координат усіх елементів деталі. По-друге, оператор може легко виконати прив'язку заготовки до системи координат за допомогою стандартних засобів вимірювання [8].

Система координат деталі та положення нульової точки показана на рисунку 3.1.

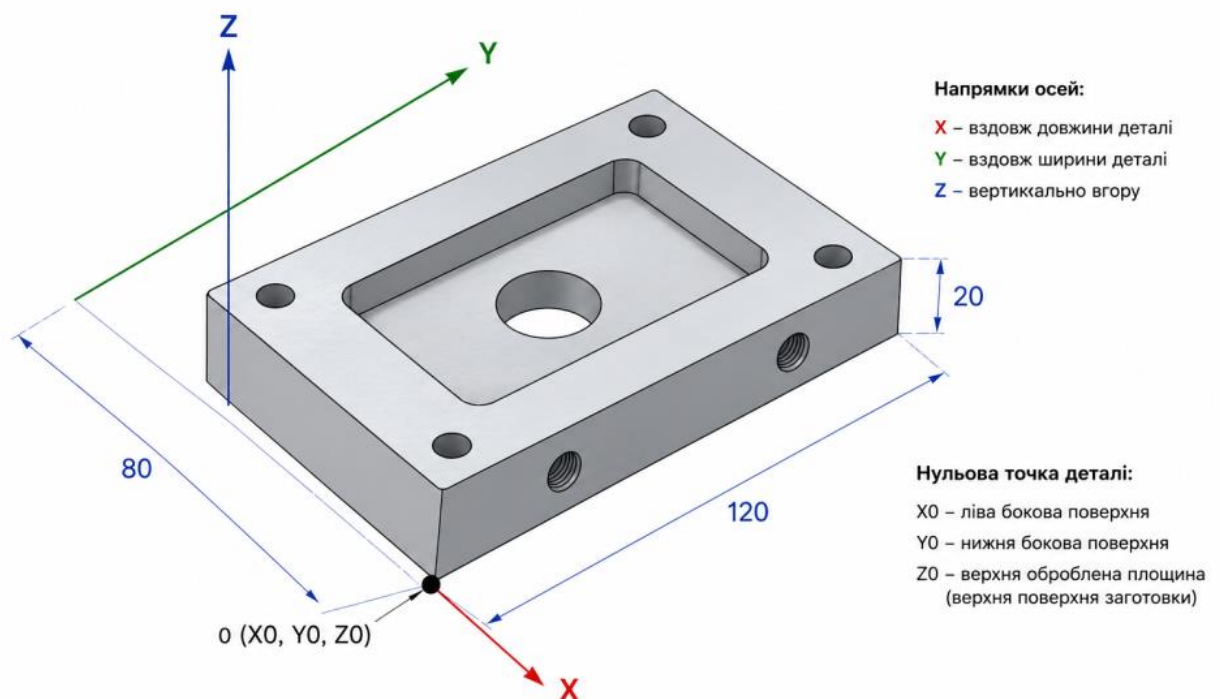


Рисунок 3.1 – Система координат деталі та положення нульової точки

Для даної деталі координати нульової точки визначаються таким чином:

- X0 – ліва бокова поверхня;
- Y0 – нижня бокова поверхня;

- Z0 – верхня оброблена площина заготовки.

Такий спосіб базування дозволяє уникнути використання від'ємних координат для більшості елементів деталі та значно спрощує структуру керуючої програми.

Після визначення положення нульової точки виконується прив'язка заготовки до робочої системи координат. На сучасних оброблювальних центрах ця процедура здійснюється за допомогою електронного щупа, індикатора або спеціального датчика встановлення інструмента. Отримані значення координат заносяться до таблиці робочих зсувів системи FANUC [11].

Для активації робочої системи координат у програмі використовується команда G54.

Після її виконання всі подальші координати інструмента визначаються відносно встановленої нульової точки деталі.

Важливим елементом налагодження є вибір режиму програмування координат. У роботі використовується абсолютне програмування, яке активується командою G90.

У цьому режимі всі координати задаються відносно нульової точки деталі. Такий підхід є найбільш поширеним у сучасному виробництві завдяки простоті контролю координат та зручності редагування програм [13].

Для забезпечення правильної роботи інструментів необхідно виконати введення корекцій довжини інструмента. Кожен інструмент має індивідуальну довжину, тому система ЧПК повинна враховувати ці параметри під час переміщення по осі Z.

У даній роботі використовується шість інструментів T01 – T06, наведенні у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Корекції інструментів

№ інструмента	Найменування	Корекція
T01	торцева фреза Ø50	H01
T02	кінцева фреза Ø10	H02
T03	свердло Ø8	H03
T04	свердло Ø18	H04
T05	розточувальний інструмент	H05
T06	мітчик M6	H06

Для активації корекції використовуються команди G41 або G42 залежно від напрямку обходу контуру. Скасування корекції виконується командою G40.

Застосування корекцій радіуса значно підвищує гнучкість програмування та спрощує заміну інструментів із близькими геометричними параметрами [8].

Важливим налагоджувальним параметром є вибір безпечної площини переміщення інструмента. Для запобігання можливим зіткненням усі швидкі переміщення між технологічними переходами виконуються на висоті  $Z = 50$  мм відносно верхньої площини деталі.

Такий рівень забезпечує достатній запас безпеки під час переходів між різними зонами оброблення та відповідає габаритам використовуваного оснащення.

Наступним етапом налагодження є вибір режимів різання для кожного інструмента. Основними параметрами є частота обертання шпинделя та подача.

Для алюмінієвого сплаву прийнято наступні режими різання, наведенні у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні режими різання

Інструмент	Частота обертання, об/хв	Подача, мм/хв
торцева фреза Ø50	2500	800
кінцева фреза Ø10	4500	600
свердло Ø8	2500	200
свердло Ø18	1800	150
розточувальний інструмент	1200	120
мітчик М6	500	відповідно до кроку різьби

Перед початком виконання програми здійснюється активація основних режимів роботи системи ЧПК, які забезпечують використання метричної системи вимірювання, вибір площини ХУ, скасування активних корекцій і циклів, а також увімкнення абсолютного програмування та робочої системи координат [11].

Отже, на етапі формування системи координат і налагоджувальних параметрів визначено положення нульової точки деталі, налаштовано робочу систему координат G54, введено корекції інструментів, обрано безпечні площини переміщення та режими різання для всіх ТО. Виконані налаштування забезпечують правильну роботу керуючої програми, точне позиціонування інструмента та створюють необхідні умови для подальшого програмування операцій фрезерування, свердління, розточування та нарізання різьби із використанням стандартних циклів оброблення.

### 3.2 Розроблення керуючої програми з використанням циклів оброблення

Після визначення системи координат, вибору обладнання, ріжучого інструменту та технологічного маршруту оброблення виконується безпосереднє розроблення керуючої програми для верстата з ЧПК. Основною метою програмування є створення послідовності команд, які забезпечують автоматичне виконання всіх технологічних переходів із дотриманням заданої точності та продуктивності оброблення.

Особливістю даної роботи є широке використання стандартних циклів системи FANUC. Застосування циклів дозволяє значно скоротити обсяг програмного коду, спростити структуру програми та забезпечити високу надійність виконання повторюваних технологічних операцій. Основними циклами, що використовуються у програмі, є цикл свердління G81, цикл розточування G85 та цикл нарізання різьби G84 [11, 12].

Розроблення керуючої програми починається зі створення заголовка програми. У заголовку задаються номер програми, початкові режими роботи системи ЧПК та підготовчі команди.

Фрагмент програмного коду ініціалізації програми наведено на лістинг 3.1.

Лістинг 3.1 – Ініціалізації програми (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
%
O1001
(ДЕТАЛЬ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ЧПК)
G21 G17 G40 G49 G80 G90
G54
G00 Z100
```

Команда G21 активує метричну систему вимірювання, G17 задає робочу площину XY, G40 скасовує корекцію радіуса інструмента, G49 — корекцію довжини інструмента, G80 скасовує активні цикли, а G90

встановлює абсолютне програмування координат. Команда G54 активує робочу систему координат деталі [12].

Після виконання початкових налаштувань здійснюється оброблення верхньої площини заготовки.

Для оброблення використовується торцева фреза діаметром 50 мм. Фрагмент програмного коду фрезерування верхньої площини наведено на лістинг 3.2.

Лістинг 3.2 – Фрезерування верхньої площини (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
T01 M06
G00 G90 G54 X0 Y0
S2500 M03
G43 H01 Z100
M08
G00 X-20 Y0
Z5
G01 Z-0.5 F200
G01 X140 F800
G01 Y20
G01 X-20
G01 Y40
G01 X140
G01 Y60
G01 X-20
G00 Z100
M09
```

У результаті виконання даної операції формується базова верхня площина деталі, яка використовується для подальшого оброблення.

Після завершення базування виконується контурне фрезерування зовнішнього профілю деталі. Для виконання операції використовується кінцева фреза Ø10 мм. Фрагмент програмного коду чорнове та чистове контурне фрезерування наведено на лістинг 3.3.

Лістинг 3.3 – Чорнове та чистове контурне фрезерування (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
T02 M06
G00 X5 Y5
S4500 M03
G43 H02 Z100
M08
G00 Z5
G01 Z-2 F150
G41 D02
G01 X115 Y5 F600
G01 X115 Y75
G01 X5 Y75
G01 X5 Y5
G40
G00 Z100
```

Під час виконання даної операції використовується корекція радіуса інструмента G41, що забезпечує точне дотримання геометричних розмірів контуру.

Наступною операцією є фрезерування внутрішньої кишені. Для реалізації операції використовується кінцева фреза Ø10 мм. Фрагмент програмного коду оброблення прямокутної кишені наведено на лістинг 3.4.

Лістинг 3.4 – Оброблення прямокутної кишені (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
G00 X30 Y20
Z5
G01 Z-2 F150
G01 X90 Y20 F500
G01 X90 Y60
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G01 Z-4
G01 X90 Y20
G01 X90 Y60
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G01 Z-5
G01 X90 Y20
G01 X90 Y60
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G00 Z100
```

Пошарове видалення матеріалу дозволяє знизити навантаження на інструмент та забезпечити стабільність процесу різання.

Після завершення фрезерних операцій виконується група свердлильних переходів. Для виконання чотирьох отворів Ø8 мм використовується цикл G81. Фрагмент програмного коду свердління кріпильних отворів наведено на лістинг 3.5.

Лістинг 3.5 – Свердління кріпильних отворів (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
T03 M06
S2500 M03
G43 H03 Z100
M08
G98 G81 Z-15 R3 F200
X20 Y20
X100 Y20
X100 Y60
X20 Y60
G80
G00 Z100
```

Цикл G81 автоматично виконує підведення інструмента, свердління на задану глибину та повернення до площини відведення. Для програмування чотирьох отворів достатньо вказати лише координати центрів [11].

Для центрального отвору використовується свердло Ø18 мм. Фрагмент програмного коду попереднє свердління центрального отвору наведено на лістинг 3.6.

Лістинг 3.6 – Попереднє свердління центрального отвору (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
T04 M06
S1800 M03
G43 H04 Z100
M08
G81 X60 Y40 Z-20 R3 F150
G80
G00 Z100
```

Після виконання попереднього свердління отвір підготовлений до чистової обробки.

Для досягнення необхідної точності застосовується цикл G85. Фрагмент програмного коду розточування центрального отвору Ø20 мм наведено на лістинг 3.7.

Лістинг 3.7 – Розточування центрального отвору Ø20 мм (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc)

```
T05 M06
S1200 M03
G43 H05 Z100
G85 X60 Y40 Z-20 R3 F120
G80
G00 Z100
```

Цикл G85 забезпечує плавне введення та виведення інструмента з робочою подачею, що позитивно впливає на якість поверхні отвору [13].

Для двох різьбових отворів використовується цикл G84. Фрагмент програмного коду нарізання різьби M6 наведено на лістинг 3.8.

Лістинг 3.8 – Нарізання різьби M6 (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc).

```
T06 M06
S500 M03
G43 H06 Z100
G84 X40 Y40 Z-12 R3 F1.0
X80 Y40
G80
G00 Z100
```

У процесі виконання циклу система автоматично синхронізує подачу мітчика з частотою обертання шпинделя та виконує реверс після досягнення заданої глибини різьби [12].

Після завершення всіх ТО виконується завершальний блок програми. Фрагмент програмного коду завершення програми наведено на лістинг 3.9.

Лістинг 3.9 – Завершення програми (файл NC / O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc).

```
G00 Z100  
G00 X0 Y0  
M05  
M09  
G53 Z0  
M30  
%
```

Команда M05 зупиняє шпиндель, M09 вимикає систему подачі охолоджувальної рідини, а команда M30 завершує виконання програми та повертає систему керування до початкового стану.

Загальний обсяг розробленої програми становить близько 80 – 100 кадрів, що є значно меншим порівняно з програмою, побудованою без використання циклів. Особливо суттєве скорочення досягається під час програмування свердлильних операцій та нарізання різьби, де один цикл дозволяє замінити десятки окремих команд переміщення інструмента.

Використання стандартних циклів забезпечує високу наочність структури програми, спрощує процес її редагування та знижує ймовірність помилок програмування. Крім того, застосування циклів дозволяє легко адаптувати програму до зміни геометричних параметрів деталі шляхом коригування лише окремих параметрів циклу без необхідності повного переписування програмного коду.

Розроблено повну керуючу програму для оброблення деталі на вертикальному фрезерному оброблювальному центрі з системою FANUC (Додаток А). Програма реалізує всі необхідні технологічні переходи та демонструє ефективність використання стандартних циклів оброблення під час програмування ТО з ЧПК.

### 3.3 Моделювання та перевірка керуючої програми

Після завершення розроблення керуючої програми обов'язковим етапом є її моделювання та перевірка працездатності. Навіть за умови правильного синтаксису програми існує ймовірність виникнення помилок, пов'язаних із неправильним вибором координат, некоректною послідовністю технологічних переходів, можливими зіткненнями інструмента із заготовкою або елементами оснащення. Тому перед запуском програми на реальному обладнанні необхідно виконати її детальний аналіз та перевірку в середовищі моделювання [8, 11].

Основною метою моделювання є візуалізація процесу оброблення деталі, контроль траєкторії руху інструмента, перевірка правильності виконання ТО та виявлення можливих помилок програмування. Використання сучасних програмних засобів дозволяє виконати повну перевірку керуючої програми без ризику пошкодження обладнання або інструменту [9].

У сучасному виробництві для перевірки керуючих програм широко використовуються САМ-системи та спеціалізовані програмні продукти, серед яких Mastercam Verify, CIMCO Edit, NC Simulator, Vericut, Siemens NX CAM Simulation та Fusion 360 Manufacture [19, 24]. Ці програмні комплекси дозволяють моделювати процес оброблення з урахуванням кінематики конкретного верстата, геометрії інструмента та особливостей системи ЧПК.

Для даної роботи моделювання виконується на основі тривимірної моделі заготовки та розробленої керуючої програми FANUC. У середовищі симуляції задаються параметри оброблювального центру, робоча система координат G54, характеристики інструментів та режими різання. Після завантаження програми виконується покрокове відтворення всіх ТО [24].

Першим етапом перевірки є аналіз структури програми. На цьому етапі контролюється правильність запису G-кодів і M-кодів, відповідність номерів інструментів таблиці корекцій, правильність виклику циклів оброблення та

завершення програми. Перевіряється наявність усіх необхідних команд підготовки системи ЧПК, зокрема встановлення метричної системи координат, вибору площини оброблення та активації робочої системи координат [11].

Після синтаксичної перевірки виконується моделювання холостого проходу програми. У цьому режимі система відображає всі переміщення інструмента без моделювання процесу різання. Такий підхід дозволяє перевірити правильність переміщень між операціями, висоту безпечних переходів та відповідність координат положенню елементів деталі [8].

Особлива увага приділяється контролю початкових та кінцевих положень інструмента. Під час моделювання встановлено, що всі інструменти починають роботу з безпечної висоти  $Z=100$  мм, а після завершення операцій повертаються у вихідне положення. Це виключає можливість випадкового зіткнення інструмента із заготовкою під час зміни інструмента або переходу між операціями.

Наступним етапом є перевірка правильності оброблення базової площини. У процесі симуляції контролюється повнота перекриття поверхні траєкторіями торцевої фрези та відсутність необроблених ділянок. Результати моделювання показали, що після виконання операції формується рівномірна поверхня без пропусків і надмірного перекриття проходів.

Після цього виконується перевірка контурного фрезерування зовнішнього профілю деталі. Система моделювання відображає фактичний контур, який формується інструментом, та порівнює його із геометрією моделі. Аналіз результатів показав, що використання корекції радіуса інструмента G41 забезпечує правильне відтворення зовнішніх розмірів деталі та компенсацію геометричних параметрів фрези [13].

Особливо важливим етапом є перевірка операції кишенькового фрезерування. Оскільки дана операція пов'язана зі значним видаленням матеріалу, існує ризик виникнення надмірного навантаження на інструмент або залишення необроблених зон. Під час моделювання було встановлено,

що траєкторія інструмента забезпечує рівномірне зняття матеріалу по всій площі кишені, а глибина оброблення відповідає вимогам креслення. Залишковий матеріал після чорнових проходів повністю видаляється під час чистової обробки.

Далі виконується перевірка свердлильних операцій, реалізованих за допомогою циклу G81. У процесі моделювання контролюється правильність розташування центрів отворів та відповідність глибини свердління заданим параметрам. Результати симуляції підтвердили правильність позиціонування всіх чотирьох отворів і коректну роботу циклу свердління [12].

Під час перевірки центрального отвору особлива увага приділяється співвісності попереднього свердління та операції розточування. Аналіз моделі показав, що траєкторії інструментів збігаються, а остаточний діаметр отвору відповідає конструкторським вимогам. Це підтверджує правильність вибору координат та параметрів циклу G85.

Перевірка циклу нарізання різьби G84 виконується шляхом контролю синхронізації осьової подачі та обертання шпинделя. Моделювання показало відсутність перевантаження інструмента та правильне формування різьбових отворів у заданих координатах. Використання автоматичного циклу забезпечило стабільність процесу та виключило необхідність ручного програмування складних рухів мітчика [12].

Одним із найважливіших критеріїв перевірки є контроль можливих зіткнень. Система моделювання автоматично аналізує взаємне розташування інструмента, заготовки, пристосування та елементів верстата. У результаті перевірки не було виявлено зіткнень між інструментом і лещатами, а також небезпечних переміщень під час зміни інструмента. Це свідчить про правильний вибір безпечних висот та координатних переміщень.

Після завершення симуляції проводиться аналіз отриманої геометричної моделі деталі. Для цього використовується функція порівняння готової деталі з вихідною CAD-моделлю (рисунок 3.2).

Результати аналізу показали повну відповідність основних геометричних параметрів деталі вимогам креслення. Відхилення знаходяться в межах допустимих похибок числового моделювання та не впливають на функціональні характеристики виробу [24].

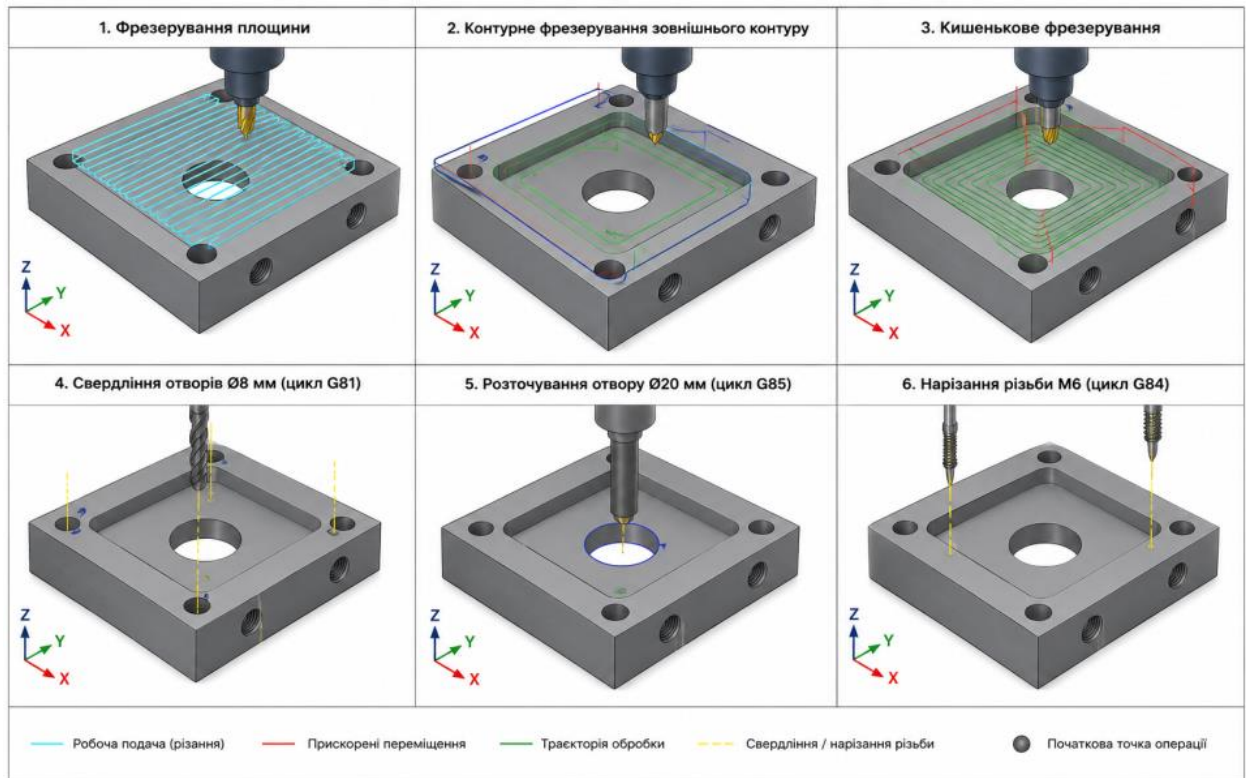


Рисунок 3.2 – Результати моделювання траєкторії інструмента

Для оцінювання результатів перевірки сформовано таблицю 3.3 контролю ТО.

Таблиця 3.3 – Результати перевірки керуючої програми

Операція	Результат перевірки
1	2
фрезерування площини	виконано без помилок
контурне фрезерування	контур відповідає кресленню
оброблення кишені	геометрія відповідає моделі
свердління Ø8 мм	отвори розташовані правильно

## Продовження таблиці 3.3

1	2
отвір Ø20 мм	досягнуто необхідної точності
нарізання різьби М6	різьба сформована коректно
перевірка зіткнень	зіткнення відсутні
завершення програми	виконується коректно

Проведене моделювання підтвердило правильність розробленої керуючої програми та ефективність використання стандартних циклів оброблення. Використання засобів комп'ютерної симуляції дозволило виявити та усунути потенційні помилки ще до запуску програми на реальному обладнанні, що сприяє підвищенню безпеки виробництва та зменшенню витрат на налагодження.

Результати перевірки свідчать про працездатність створеної керуючої програми та правильність вибору технологічних параметрів. Програма забезпечує виконання всіх технологічних переходів відповідно до маршруту оброблення, не містить критичних помилок та може бути використана для виготовлення деталі на вертикальному оброблювальному центрі з системою ЧПК FANUC.

#### 3.4 Аналіз ефективності використання циклів оброблення

Однією з головних цілей даної роботи є дослідження ефективності використання стандартних циклів оброблення під час розроблення керуючих програм для обладнання з ЧПК. Сучасні системи ЧПК містять значну кількість вбудованих циклів, які дозволяють автоматизувати виконання типових ТО та суттєво спростити процес програмування. Тому після розроблення та перевірки керуючої програми необхідно оцінити отримані результати та визначити переваги використання циклів порівняно з традиційним способом програмування окремими командами переміщення

інструмента [11, 12].

Ефективність використання циклів оброблення може оцінюватися за декількома критеріями, серед яких найбільше значення мають обсяг програмного коду, трудомісткість розроблення програми, зручність її редагування, надійність виконання ТО, можливість подальшої модернізації та загальна продуктивність підготовки виробництва. Саме ці показники визначають доцільність використання стандартних циклів у сучасному машинобудівному виробництві [8].

Для оцінювання ефективності було виконано порівняння двох варіантів реалізації окремих ТО. У першому випадку використовувалися стандартні цикли системи FANUC, а в другому аналогічні операції програмувалися за допомогою окремих команд переміщення інструмента без використання циклів. Аналіз проводився для операцій свердління, розточування та нарізання різьби, які найбільш повно демонструють переваги циклічного програмування.

Під час програмування одного отвору без використання циклу необхідно окремо задавати команди підведення інструмента, переміщення до поверхні деталі, робочого заглиблення, відведення інструмента та переходу до наступної позиції. Для кожного отвору формується декілька програмних кадрів. Якщо деталь містить значну кількість однакових отворів, обсяг програми швидко збільшується, що ускладнює її структуру та підвищує ймовірність помилок [13].

Аналогічна ситуація спостерігається під час виконання операцій нарізання різьби. Без використання циклу програмісту необхідно забезпечити точну синхронізацію подачі та обертання шпинделя, організувати реверс та контроль глибини різьби. Реалізація такого алгоритму вручну є складною та потребує значного обсягу коду. Використання циклу G84 дозволяє виконати цю операцію за допомогою одного виклику циклу та декількох параметрів [11].

Важливим критерієм ефективності є скорочення часу розроблення керуючої програми. Під час ручного програмування кожен технологічний перехід необхідно описувати окремо, виконуючи додаткові розрахунки координат і перевірку правильності переміщень. Використання стандартних циклів дозволяє суттєво скоротити обсяг рутинної роботи, оскільки більшість допоміжних дій вже реалізована у ПЗ системи ЧПК [13].

За результатами виконаної роботи встановлено, що використання циклів дозволяє скоротити час створення керуючої програми приблизно на 25 – 40 % залежно від складності деталі та кількості повторюваних елементів. Найбільший ефект досягається для деталей із великою кількістю отворів або однотипних технологічних переходів.

Не менш важливою перевагою циклів є спрощення процесу редагування програм. У виробничих умовах часто виникає необхідність змінити глибину отвору, координати оброблення або режими різання. Якщо програма створена за допомогою стандартних циклів, для внесення змін достатньо скоригувати кілька параметрів циклу. У випадку традиційного програмування необхідно редагувати значну кількість окремих кадрів, що збільшує трудомісткість роботи та ризик виникнення помилок [8].

Особливе значення має вплив циклів на надійність керуючих програм. Стандартні цикли є складовою ПЗ системи ЧПК та проходять багатоетапну перевірку виробниками обладнання. Завдяки цьому вони мають високий рівень надійності та стабільності роботи. Використання готових алгоритмів дозволяє уникнути багатьох помилок, які можуть виникати під час ручного програмування складних траєкторій руху інструмента [11].

Під час моделювання керуючої програми було встановлено, що застосування циклів забезпечує стабільне виконання операцій свердління та різьбонарізання без необхідності додаткового коригування програмного коду. Це особливо важливо під час серійного виробництва, де навіть незначні помилки можуть призвести до значних матеріальних втрат.

Для кількісної оцінки результатів виконано порівняння основних показників двох варіантів програмування, наведенні у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння програмування з використанням циклів та без них

Показник	Без циклів	Із циклами
кількість кадрів програми	150 – 180	80 – 100
час розроблення програми	високий	нижчий
складність редагування	висока	низька
ймовірність помилок	підвищена	мінімальна
наочність структури програми	середня	висока
повторне використання коду	обмежене	високе
швидкість налагодження	середня	висока

Аналіз наведених даних показує, що використання стандартних циклів дозволяє скоротити обсяг програми приблизно на 40 – 50 %. При цьому програма стає більш компактною, зрозумілою та зручною для супроводу. Зменшення кількості програмних кадрів також сприяє прискоренню процесу пошуку та виправлення можливих помилок.

Додатковою перевагою циклів є уніфікація програмування. Більшість сучасних систем ЧПК підтримують подібний набір стандартних циклів, тому програми можуть відносно легко адаптуватися до різних моделей обладнання. Це спрощує підготовку персоналу та підвищує універсальність технологічних рішень [12].

Порівняння програм та результатів з використанням та без використання циклів наведено у Додатку Б.

Економічний ефект від використання циклів проявляється у скороченні часу технологічної підготовки виробництва, зменшенні витрат на налагодження ТО та зниженні ризику виготовлення бракованої продукції. Для підприємств, які працюють у режимі серійного або дрібносерійного виробництва, це дозволяє суттєво підвищити ефективність виробничих

процесів і скоротити терміни освоєння нових виробів.

Проведений аналіз підтвердив високу ефективність використання стандартних циклів оброблення під час розроблення керуючих програм для обладнання з ЧПК. Використання циклів забезпечує скорочення обсягу програмного коду, спрощує процес програмування та редагування, підвищує надійність роботи системи та сприяє скороченню часу технологічної підготовки виробництва. Отримані результати підтверджують доцільність широкого застосування циклічного програмування в сучасному машинобудуванні та повністю відповідають поставленим завданням кваліфікаційної роботи.

### 3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі роботи виконано завершальний етап розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення. На основі результатів, отриманих у попередніх розділах, було сформовано систему координат деталі, визначено налагоджувальні параметри обладнання та виконано програмування всіх необхідних технологічних переходів відповідно до розробленого маршруту оброблення.

На початковому етапі було сформовано робочу систему координат G54, обрано положення нульової точки деталі та виконано налаштування корекцій інструментів. Встановлено параметри безпечних переміщень, режими різання та початкові умови роботи системи ЧПК. Прийняті рішення забезпечили коректне позиціонування інструмента відносно заготовки та створили необхідні умови для виконання всіх ТО із заданою точністю.

Розроблено повну керуючу програму для вертикального фрезерного оброблювального центру з системою керування FANUC. Програма містить усі необхідні команди для виконання операцій фрезерування площин, контурного оброблення, кишенькового фрезерування, свердління отворів, розточування та нарізання різьби. Особливістю створеної програми є широке

використання стандартних циклів G81, G83, G84 та G85, які дозволили автоматизувати виконання типових технологічних переходів та значно скоротити обсяг програмного коду.

Проведене моделювання керуючої програми підтвердило правильність вибору системи координат, коректність роботи циклів оброблення та відсутність синтаксичних помилок у програмному коді. У процесі перевірки було виконано візуальний контроль траєкторій руху інструмента, аналіз послідовності технологічних переходів та перевірку можливих зіткнень між інструментом, заготовкою та елементами оснащення. Результати моделювання показали, що всі операції виконуються відповідно до вимог креслення, а розроблена програма забезпечує отримання деталі із заданими геометричними параметрами.

Особливу увагу приділено оцінюванню ефективності використання стандартних циклів оброблення. Проведене порівняння показало, що застосування циклів дозволило скоротити кількість програмних кадрів майже вдвічі порівняно з програмуванням аналогічних операцій окремими командами переміщення інструмента. Це забезпечило підвищення наочності програми, спрощення її структури та значне полегшення процесу редагування.

Аналіз результатів також показав, що використання циклів сприяє зменшенню ймовірності програмних помилок. Завдяки тому, що логіка виконання типових операцій реалізована безпосередньо в системі ЧПК, програмісту необхідно задавати лише основні параметри ТП. Це дозволяє мінімізувати ризик помилок під час створення та налагодження програм і підвищує надійність роботи ТО.

Встановлено, що використання стандартних циклів є особливо ефективним для деталей, які містять значну кількість отворів, різьбових елементів та повторюваних технологічних переходів. У таких випадках скорочується не лише обсяг програмного коду, але й час технологічної підготовки виробництва. Крім того, значно спрощується адаптація програм

до змін конструкції деталі або режимів оброблення.

Отримані результати підтверджують, що застосування стандартних циклів оброблення є одним із найбільш ефективних засобів підвищення продуктивності програмування обладнання з ЧПК. Використання циклів дозволяє забезпечити високу якість програмного коду, спростити його супровід та створити умови для швидкого впровадження нових виробів у виробництво.

Проведений аналіз підтвердив правильність прийнятих технологічних і програмних рішень, а також доцільність використання стандартних циклів оброблення як ефективного інструменту автоматизації програмування ТО з ЧПК.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці

Охорона праці є важливою складовою виробничої діяльності сучасних підприємств і організацій, спрямованою на забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці, збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання ними професійних обов'язків. В умовах широкого впровадження інформаційних технологій та комп'ютеризованих систем особливого значення набуває створення безпечних умов праці для користувачів програмно-технічних комплексів, оскільки тривала робота з комп'ютерною технікою супроводжується значними психоемоційними та зоровими навантаженнями.

Роль охорони праці полягає не лише у запобіганні виробничому травматизму та професійним захворюванням, а й у створенні сприятливих умов праці, підвищенні продуктивності праці та забезпеченні ефективного функціонування підприємства в цілому. Реалізація заходів з охорони праці дозволяє зменшити ризики виникнення небезпечних ситуацій, забезпечити належний рівень виробничої дисципліни та підвищити соціальну відповідальність роботодавця.

Правове регулювання охорони праці в Україні здійснюється на основі Конституції України, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України та інших нормативно-правових актів [24-28]. Значну роль відіграють державні санітарні норми і правила, нормативні акти з електробезпеки, пожежної безпеки та міжнародні стандарти, зокрема ДСТУ ISO 45001, які регламентують вимоги до систем управління охороною здоров'я та безпекою праці. Важливими складовими організаційного забезпечення охорони праці є проведення навчання та інструктажів, оцінювання професійних ризиків,

контроль технічного стану обладнання, а також планування та реалізація профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням.

#### 4.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек

Об'єктом проектування в межах кваліфікаційної роботи є робоче місце інженера-програміста верстатів з ЧПК. Робоче місце розташоване у приміщенні наукової лабораторії, де проводиться розроблення, моделювання та тестування програм керування для верстатів з ЧПК.

На рисунку 4.1 зображено приміщення наукової лабораторії з розміщенням робочих місць інженера-програміста верстатів з ЧПК.



Рисунок 4.1 – Приміщення наукової лабораторії

Приміщення наукової лабораторії має площу 48 м<sup>2</sup> та висоту 3,5 м. У лабораторії розміщено шість робочих місць, обладнаних персональними комп'ютерами, моніторами, клавіатурами, маніпуляторами типу «миша»,

периферійним обладнанням та спеціалізованим програмним забезпеченням CAD/CAM-систем. Основними функціями інженера-програміста є створення та редагування керувальних програм, моделювання процесів механічної обробки, аналіз результатів моделювання, тестування програмного забезпечення та підготовка технологічної документації.

Відповідно до класифікації небезпечних та шкідливих виробничих факторів проведено ідентифікацію потенційних небезпек, які можуть виникати під час роботи інженера-програміста верстатів з ЧПК.

У таблиці 4.1 наведено виявлення потенційних небезпек які можуть виникати у приміщенні наукової лабораторії під час роботи інженера-програміста верстатів з ЧПК.

Таблиця 4.1 – Виявлення потенційних небезпек

№	Потенційна небезпека	Джерело небезпеки	Можливі наслідки
1	2	3	4
1	Ураження електричним струмом	електромережа, блоки живлення ПК, периферійне обладнання	електротравми різного ступеня тяжкості
2	Недостатня освітленість робочої зони	недостатня кількість світильників, несправність освітлення	погіршення зору, швидка втома
3	Підвищений рівень електромагнітного випромінювання	монітори, системні блоки, мережеве обладнання	погіршення самопочуття, зниження працездатності
4	Тривале статичне навантаження	тривала робота в сидячому положенні	захворювання опорно-рухового апарату
5	Нервово-психічне перевантаження	інтенсивна розумова праця, висока відповідальність	стрес, перевтома, зниження концентрації уваги

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
6	Підвищений рівень шуму	вентилятори ПК, системи вентиляції	підвищена втомлюваність, погіршення уваги
7	Пожежа	коротке замикання електромережі, несправність обладнання	травмування персоналу, матеріальні збитки
8	Військова загроза	повітряні тривоги, ракетні удари	травмування або загибель працівників

Як видно з таблиці 4.1, на робочому місці інженера-програміста верстатів з ЧПК присутній комплекс небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які за своєю природою належать переважно до фізичних та психофізіологічних. Найбільшу небезпеку становлять ураження електричним струмом, пожежна небезпека, недостатня освітленість робочої зони та нервово-психічне перевантаження, що обумовлено специфікою професійної діяльності, пов'язаної з тривалою роботою за ПК та використанням спеціалізованого ПЗ [29, 30].

Крім виробничих небезпек, для сучасних умов функціонування підприємств в Україні необхідно враховувати небезпеки загального характеру, зокрема ризик виникнення пожеж та військові загрози, пов'язані з дією воєнного стану. Виявлені небезпеки можуть призводити як до погіршення стану здоров'я працівників, зниження їх працездатності та розвитку професійних захворювань, так і до виникнення аварійних ситуацій, матеріальних збитків або травмування персоналу.

Повністю усунути вплив усіх небезпечних і шкідливих факторів неможливо, проте за рахунок впровадження організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів можна істотно знизити рівень професійного ризику та забезпечити належний рівень безпеки праці.

Тому на наступному етапі доцільно провести оцінювання ризику реалізації виявлених небезпек та розробити заходи щодо їх попередження і мінімізації.

Отже, на робочому місці інженера-програміста присутні фізичні та психофізіологічні небезпечні фактори. Найбільш значущими небезпеками є електротравмування, пожежна небезпека, недостатня освітленість, психоемоційне перевантаження та військові загрози. Для зниження впливу зазначених факторів необхідно виконати оцінювання ризиків та розробити відповідні профілактичні заходи.

#### 4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження

Оцінювання ризиків є одним із основних елементів системи управління охороною праці. Його метою є визначення рівня небезпеки, встановлення пріоритетності захисних заходів та розроблення рішень щодо зниження професійних ризиків до прийняттого рівня. Для оцінювання ризиків можуть використовуватися метод «дерева відмов» та матриця оцінювання ризиків.

Для досліджуваного об'єкта застосовано метод аналізування «дерева відмов» для небезпечної події «Виникнення пожежі».

Виникнення пожежі («ГА»):

- наявність горючих матеріалів (ізоляція кабелів, меблі, паперова документація);
- джерело запалювання.

Джерело запалювання («АБО»):

- коротке замикання електромережі;
- перегрів електронних компонентів ПК;
- несправність периферійного обладнання;
- порушення правил експлуатації електрообладнання.

Для кількісного оцінювання використано матрицю ризику, результати наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінювання ризиків реалізації потенційних небезпек

Небезпека	Категорія серйозності	Рівень ймовірності	Індекс ризику	Рівень ризику
Ураження електричним струмом	II – критична	C – випадкова	2C	небажаний
Пожежа	I – катастрофічна	D – віддалена	1D	небажаний
Недостатня освітленість	III – гранична	B – можлива	3B	небажаний
Психоемоційне перевантаження	III – гранична	A – часта	3A	неприпустимий
Військова загроза	I – катастрофічна	D – віддалена	1D	небажаний

За результатами оцінювання встановлено, що найбільш небезпечними є психоемоційні перевантаження, ризик пожежі та ураження електричним струмом. З метою зниження рівня ризиків запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, наведених у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Заходи щодо зниження ризиків

№	Небезпека	Запропонований захід	Очікуваний результат
1	2	3	4
1	Ураження електричним струмом	регулярна перевірка стану електромережі, використання захисного занулення та автоматичних вимикачів	зниження ймовірності електротравм

## Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4
2	Недостатня освітленість	збільшення кількості світильників або використання більш потужних ламп	покращення зорових умов праці
3	Психоемоційне перевантаження	раціоналізація режиму праці та відпочинку, регламентовані перерви	зменшення втомлюваності та стресу
4	Пожежа	оснащення приміщення засобами пожежогасіння та пожежною сигналізацією	зниження ризику виникнення та розвитку пожежі
5	Військова загроза	дотримання алгоритму дій під час повітряної тривоги, використання захисного укриття	зменшення ризику травмування персоналу

Аналіз даних, наведених у таблиці 4.3 заходів, показує, що для зниження рівня професійних ризиків на робочому місці інженера-програміста верстатів з ЧПК необхідно реалізувати комплекс взаємопов'язаних організаційних та технічних заходів. Запропоновані заходи спрямовані на усунення або мінімізацію впливу найбільш небезпечних факторів виробничого середовища та забезпечення безпечних умов праці.

Особливу увагу необхідно приділити заходам електробезпеки та пожежної безпеки, оскільки ураження електричним струмом і виникнення пожежі можуть призвести до тяжких наслідків для персоналу та значних матеріальних збитків. Водночас раціональна організація режиму праці та відпочинку, дотримання ергономічних вимог до робочого місця та забезпечення належного рівня освітленості сприятимуть зниженню психоемоційного навантаження, попередженню професійної втоми та підвищенню працездатності працівників [29, 30].

Реалізація запропонованих заходів дозволить зменшити ймовірність виникнення небезпечних ситуацій, підвищити рівень безпеки праці, зберегти здоров'я працівників та забезпечити стабільне функціонування робочого місця інженера-програміста верстатів з ЧПК.

#### 4.4 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі розглянуто організаційно-правові основи забезпечення безпечних умов праці та визначено їх значення для створення безпечного виробничого середовища на робочому місці інженера-програміста верстатів з ЧПК. Встановлено, що ефективна система охорони праці сприяє зниженню рівня виробничого травматизму, професійних захворювань і підвищенню продуктивності праці.

Проведено характеристику об'єкта проектування та виконано ідентифікацію потенційних небезпек, що можуть виникати під час роботи інженера-програміста. Виявлено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких найбільш суттєвими є ризик ураження електричним струмом, недостатня освітленість робочої зони, психоемоційне перевантаження, пожежна небезпека та військові загрози.

За допомогою методів оцінювання ризиків, зокрема аналізу «дерева відмов» та матриці оцінювання ризиків, проведено дослідження рівня безпеки виявлених факторів. Встановлено, що найбільш небезпечними для працівника є психоемоційне перевантаження, ризик виникнення пожежі та ураження електричним струмом.

Для зниження рівня професійних ризиків запропоновано комплекс заходів, спрямованих на підвищення електробезпеки, забезпечення належного рівня освітленості, покращення умов праці, запобігання пожежам та мінімізацію наслідків надзвичайних ситуацій. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити рівень безпеки праці та зберегти здоров'я працівників.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення. Проведене дослідження підтвердило актуальність використання сучасних засобів програмування ЧПК, спрямованих на підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва, скорочення часу створення керуючих програм та підвищення надійності їх виконання.

У першому розділі роботи проведено аналіз сучасного обладнання з ЧПК, розглянуто структуру керуючих програм, основні принципи програмування та особливості використання стандартних циклів оброблення. Встановлено, що застосування циклів є одним із найбільш ефективних способів скорочення обсягу програмного коду та автоматизації виконання типових ТО. Аналіз існуючих методів програмування показав, що використання циклічного програмування дозволяє спростити процес створення та супроводу керуючих програм, а також зменшити ймовірність виникнення помилок під час програмування.

У другому розділі виконано розроблення методики створення керуючої програми для заданої деталі. Проведено аналіз конструкції деталі та вихідних даних, обґрунтовано вибір обладнання, ріжучого інструменту та системи керування FANUC. Розроблено маршрут механічного оброблення, визначено послідовність технологічних переходів та підібрано відповідні цикли оброблення для виконання свердління, розточування та нарізання різьби. Запропоновані технологічні рішення забезпечують ефективне використання можливостей сучасних систем ЧПК та створюють основу для побудови компактної й надійної керуючої програми.

У третьому розділі сформовано систему координат деталі та виконано налаштування основних параметрів оброблення. Розроблено керуючу програму, що реалізує всі необхідні ТО із застосуванням стандартних циклів

G81, G83, G84 та G85. Проведено моделювання траєкторій руху інструмента та перевірку працездатності програми у середовищі комп'ютерної симуляції. Результати перевірки підтвердили правильність побудови програми, відсутність зіткнень та відповідність отриманої геометрії вимогам креслення.

У четвертому розділі розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці оператора ПК у приміщенні наукової лабораторії, де проводилися дослідження в рамках кваліфікаційної роботи. Проведено аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час роботи оператора ПК, зокрема вплив електричного струму, підвищений рівень шуму, недостатнє освітлення, можливість виникнення пожежонебезпечних ситуацій та вплив електромагнітних полів. На підставі проведеного аналізу запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки персоналу, що працює у приміщенні наукової лабораторії.

Виконаний аналіз ефективності показав, що використання стандартних циклів дозволяє скоротити обсяг керуючої програми приблизно на 40 – 50 % порівняно з програмуванням без використання циклів. При цьому значно спрощується структура програмного коду, підвищується його наочність, зменшується трудомісткість редагування та знижується ризик виникнення помилок під час налагодження й експлуатації програми.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої методики під час підготовки керуючих програм для фрезерних оброблювальних центрів із системами ЧПК FANUC та аналогічними системами керування. Отримані результати можуть бути використані у навчальному процесі під час вивчення дисциплін, пов'язаних із програмуванням верстатів з ЧПК, а також на підприємствах для підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2: навчальний посібник / О. В. Дерібо – Вінниця: ВНТУ, 2014. 114 с.
2. Ковальов В. А. Обладнання автоматизованого виробництва: Верстати з числовим програмним керуванням: Практикум: навч. посібник / В. А. Ковальов, А. Ю. Гаврушкевич, Н. В. Гаврушкевич – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 115 с.
3. Онофрейчук Н. В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням: підручник. Львів: Світ, 2019. 352 с.
4. Муляр Ю. І., Дерібо О. В. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. 91 с.
5. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. І. Филипенко, Н. П. Демська, С. П. Новоселов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. 366 с.
6. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах / Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Томашенко В. В., Берізко М. М. Київ: Техніка, 2005. 512 с
7. Підбір шпинделя для фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК/ О. А. Солецький та ін. ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 2023. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2023/paper/view/17390> (дата звернення: 15.05.2026)
8. Петраков Ю. В., Мацківський О. С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (73). 2015. С.78–83.
9. CAD/CAE аналіз елементів фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК / І. В. Буткалюк та ін. ЛІІ науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ, Вінниця. 2023. URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2023/paper/view/17391>(дата звернення: 16.05.2026).

10. Конструктивні особливості систем вимірювання інструментів на верстатах з ЧПК / О. Р. Артеменко, Я. М. Колода, В. К. Андрійович. 2019. URL: <http://immmmi.kpi.ua/imm2019/paper/viewPaper/17650> (дата звернення: 18.04.2026).

11. FANUC CNC Custom Macro: Operator's Manual. Oshino: FANUC Corporation, 2022. 412 p.

12. FANUC Series 0i-MODEL F Programming Manual. Oshino: FANUC Corporation, 2023. 685 p.

13. SINUMERIK 840D sl Programming Guide Fundamentals. Nuremberg: Siemens AG, 2023. 760 p.

14. SINUMERIK Operate Milling Programming Manual. Nuremberg: Siemens AG, 2022. 598 p.

15. Research of PMAC-based open NC system for Engraving and milling machine/ P.Lianet al. Int. Conf. on Mechanic Automation and Cont. Engg., Wuhan, China, 2010. P. 3424–3427.

16. Engraving and milling machine design based on open CNC system / S.K. Cao et al. Appl. Mech. and Mater, 2011 Vol. 52-54, P. 881–886.

17. CNC PCB milling and wood engraving machine/ R. Choudhary et al. Proceedings of the International Conference on Smart Techn. For Smart Nation (SmartTechCon), Bengaluru, India, 2017. P.1301–1306.

18. Sameera and Mohd Asif Hasan. Understanding Features and Requirements of Power Drives for Performance Improvement of the CNC Machines. Journal of Basic and Applied Engineering Research. January-March, 2018. Vol. 5, Issue 1. P. 8–13.

19. Sameera and Mohd Asif Hasan. A Study of Stepper Motors for Performance Improvement of the CNC Machines. Advanced Research in Electrical and Electronic Engineering. July-September, 2017. Vol. 4, Issue 4. P. 240–244.

20. Mechanical hydraulic control design of CNC equipment fault based on part quality/ Y. Heet al. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2021, No 1. P. 012–014.

21. ISO 6983-1:2009. Automation Systems and Integration – Numerical Control of Machines – Program Format and Definitions of Address Words for Numerically Controlled Machines.

22. ISO 14649-1:2022. Industrial Automation Systems and Integration – Physical Device Control – Data Model for Computerized Numerical Controllers.

23. ДСТУ ISO 14649-11:2018. Автоматизовані промислові системи. Моделі даних для комп'ютеризованих числових систем керування.

24. Конституція України: Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр> (дата звернення: 10.06.2026).

25. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 24.06.2026).

26. Кодекс законів про працю України: Закон України від 10.12.1971 № 322-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08> (дата звернення: 24.06.2026).

27. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 24.06.2026).

28. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 30 с.

29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підручник /В. Ц. Жидецький. – 5-те вид., доповн. – Київ: Знання, 2014. 373 с.

30. Березуцький В. В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посібник / В. В. Березуцький, М. І. Адаменко; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

**ДОДАТОК А****Програмний код O1001\_CNC\_program\_with\_cycles.nc**

```
%  
O1001 (CNC PROGRAM WITH MACHINING CYCLES)  
(DETAIL: PLATE 120x80x20 MM)  
(MATERIAL: ALUMINUM ALLOY)  
(CONTROL SYSTEM: FANUC)  
  
(--- INITIAL SETTINGS ---)  
G21 G17 G40 G49 G80 G90  
G54  
G00 Z100  
  
(--- T01 FACE MILL D50 ---)  
T01 M06  
S2500 M03  
G43 H01 Z100  
M08  
G00 X-20 Y0  
Z5  
G01 Z-0.5 F200  
G01 X140 F800  
G01 Y20  
G01 X-20  
G01 Y40  
G01 X140  
G01 Y60  
G01 X-20  
G00 Z100  
M09  
  
(--- T02 END MILL D10: OUTER CONTOUR ---)  
T02 M06  
S4500 M03  
G43 H02 Z100  
M08  
G00 X5 Y5 Z5  
G01 Z-2 F150  
G41 D02  
G01 X115 Y5 F600  
G01 X115 Y75  
G01 X5 Y75  
G01 X5 Y5  
G40  
G00 Z100  
  
(--- T02 END MILL D10: RECTANGULAR POCKET ---)  
G00 X30 Y20 Z5  
G01 Z-2 F150  
G01 X90 Y20 F500  
G01 X90 Y60
```

```
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G01 Z-4
G01 X90 Y20
G01 X90 Y60
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G01 Z-5
G01 X90 Y20
G01 X90 Y60
G01 X30 Y60
G01 X30 Y20
G00 Z100
M09
```

```
(--- T03 DRILL D8: HOLES BY G81 ---)
T03 M06
S2500 M03
G43 H03 Z100
M08
G98 G81 Z-15 R3 F200
X20 Y20
X100 Y20
X100 Y60
X20 Y60
G80
G00 Z100
M09
```

```
(--- T04 DRILL D18: CENTRAL HOLE ---)
T04 M06
S1800 M03
G43 H04 Z100
M08
G81 X60 Y40 Z-20 R3 F150
G80
G00 Z100
M09
```

```
(--- T05 BORING TOOL: CENTRAL HOLE D20 BY G85 ---)
T05 M06
S1200 M03
G43 H05 Z100
M08
G85 X60 Y40 Z-20 R3 F120
G80
G00 Z100
M09
```

```
(--- T06 TAP M6: THREADING BY G84 ---)
T06 M06
S500 M03
G43 H06 Z100
```

```
M08  
G84 X40 Y40 Z-12 R3 F1.0  
X80 Y40  
G80  
G00 Z100  
M09
```

```
(--- PROGRAM END ---)
```

```
M05  
G00 X0 Y0  
G53 Z0  
M30  
%
```

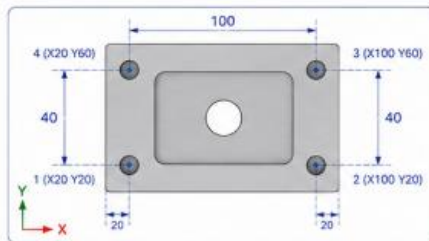
## ДОДАТОК Б

### Порівняння програм та результатів з використанням та без використання циклів

#### А) Програмування з використанням циклу G81 (свердління 4-х отворів Ø8 мм)

```

N10 T03 M06 (інструмент 3 - свердло Ø8)
N20 S2500 M03 (шпиндель за год. стрілкою)
N30 G43 H03 Z100 (корекція довжини інструмента)
N40 M08 (увімкнення СОЖ)
N50 G98 G81 Z-15 R3 F200 (цикл свердління)
N60 X20 Y20 (1-й отвір)
N70 X100 Y20 (2-й отвір)
N80 X100 Y60 (3-й отвір)
N90 X20 Y60 (4-й отвір)
N100 G80 (скасування циклу)
N110 G00 Z100 (відведення інструмента)
N120 M09 (вимкнення СОЖ)
  
```

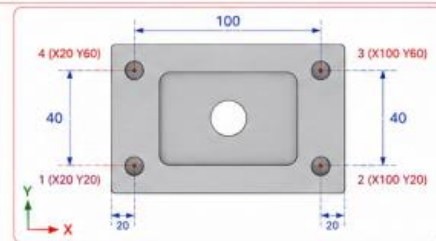


Положення центрів отворів

#### Б) Програмування без використання циклів (свердління тих самих 4-х отворів Ø8 мм)

```

N10 T03 M06 (інструмент 3 - свердло Ø8)
N20 S2500 M03 (шпиндель за год. стрілкою)
N30 G43 H03 Z100 (корекція довжини інструмента)
N40 M08 (увімкнення СОЖ)
N50 G00 X20 Y20 (перехід до 1-го отвору)
N60 G00 Z3 (підхід над деталлю)
N70 G01 Z-15 F200 (свердління на глибину)
N80 G00 Z50 (відведення інструмента)
N90 G00 X100 Y20 (перехід до 2-го отвору)
N100 G00 Z3
N110 G01 Z-15 F200
N120 G00 Z50
N130 G00 X100 Y60 (перехід до 3-го отвору)
N140 G00 Z3
N150 G01 Z-15 F200
N160 G00 Z50
N170 G00 X20 Y60 (перехід до 4-го отвору)
N180 G00 Z3
N190 G01 Z-15 F200
N200 G00 Z50
N210 G00 Z100 (відведення інструмента)
N220 M09 (вимкнення СОЖ)
  
```



Положення центрів отворів

#### Порівняння результатів

Показник	З використанням циклів (G81)	Без використання циклів	Ефект від використання циклів
Кількість рядків програми	12	22	↓ на 45 % менше коду
Час розроблення програми	Низький	Високий	↓ на 30-40 % менше часу
Зручність редагування	Висока (зміна параметрів циклу)	Низька (редагування кожного отвору)	Спрощене внесення змін
Ймовірність помилок	Низька	Підвищена	Менше ризик помилок
Обсяг програми (байт, орієнтовно)	~ 250-300	~ 500-600	↓ майже в 2 рази менший обсяг
Наочність та читабельність	Висока	Середня	Код легше читати та підтримувати

Рисунок Б.1 – Порівняння програм та результатів аналізу

## ДОДАТОК В

### Демонстраційний матеріал

\* ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
БАКАЛАВРА**  
на тему:

**Розроблення керуючої програми ЧПК з використанням  
циклів оброблення**

Виконав:  
ст. гр. Сінж 2023-1у  
Владислав ЧЕРКАС

Керівник:  
к.т.н., старший дослідник  
Євген ЦЕГЕЛЬНИК

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності розроблення керуючих програм ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення, що забезпечують скорочення обсягу програмного коду, підвищення надійності програмування та спрощення процесу підготовки виробництва.

1. Широке використання верстатів з ЧПК у сучасному виробництві;
2. Необхідність скорочення часу розроблення керуючих програм;
3. Підвищення надійності та якості програмування;
4. Зменшення кількості програмних помилок;
5. Використання стандартних циклів для автоматизації типових операцій.

**Проблема:** збільшення обсягу програмного коду під час виконання великої кількості однотипних операцій.

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

### Мета роботи:

Розроблення керуючої програми ЧПК із використанням стандартних циклів оброблення та оцінювання ефективності їх застосування під час механічного оброблення деталі.

### Основні завдання:

- аналіз методів програмування ЧПК;
- дослідження структури керуючих програм;
- вибір обладнання та інструментів;
- розроблення маршруту оброблення;
- створення керуючої програми;
- моделювання та перевірка програми;
- оцінювання ефективності циклів оброблення;
- заходи та розрахунки з охорони праці.

## ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Об'єкт дослідження:

Процес програмування обладнання з числовим програмним керуванням.

### Предмет дослідження:

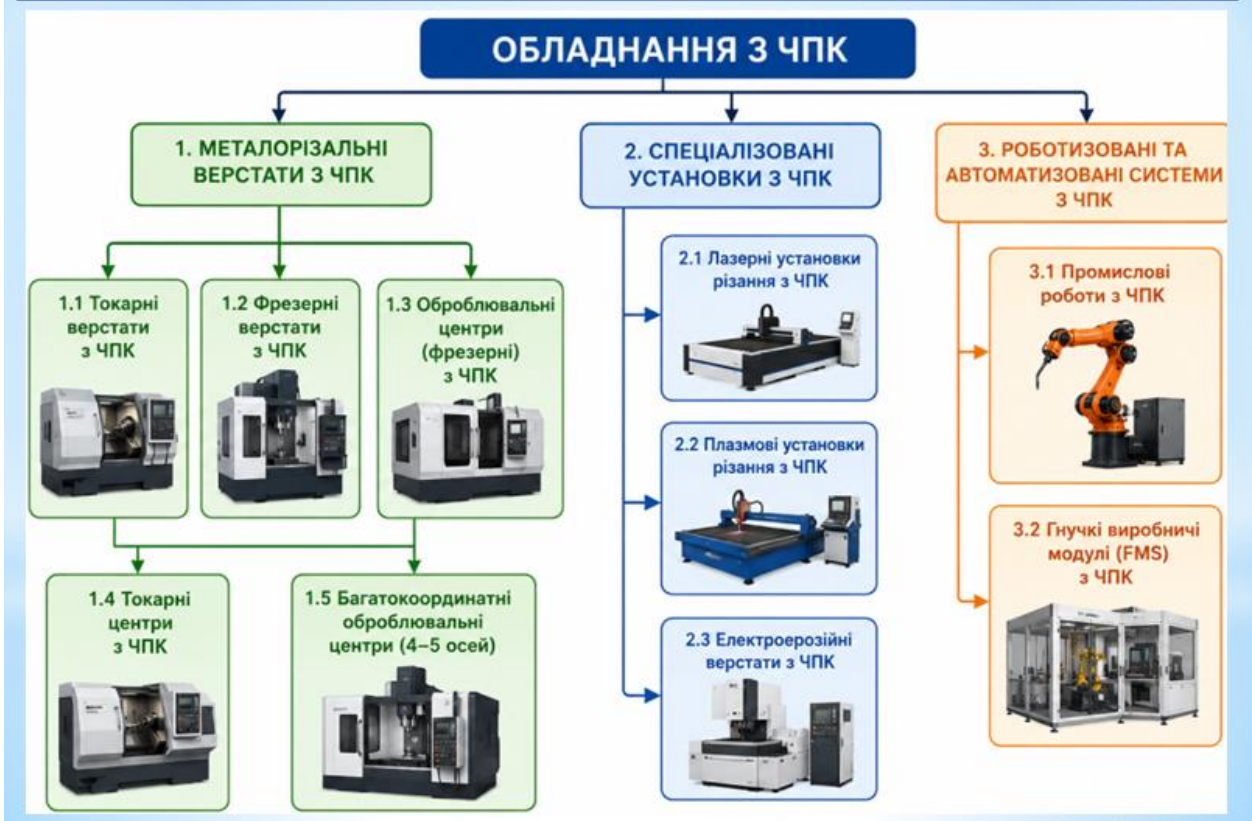
Методика створення керуючих програм із використанням стандартних циклів оброблення.

### Практична задача

Розроблення керуючої програми для фрезерного оброблювального центру FANUC.




## АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ З ЧПК



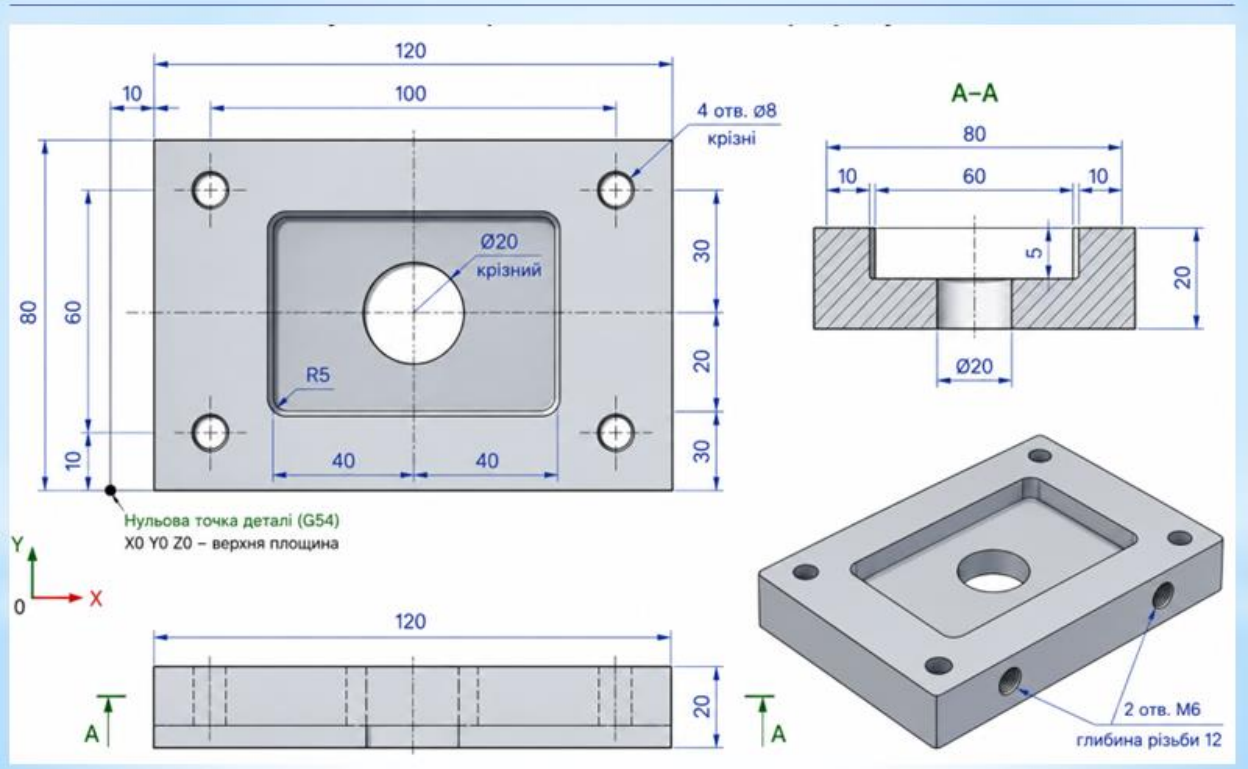
## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГРАМУВАННЯ ЧПК

Критерій	Ручне програмування	CAM-програмування	Комбінований метод
Час створення програми	великий	малий	середній
Складність освоєння	низька	висока	середня
Оброблення складних поверхонь	обмежене	ефективне	ефективне
Контроль над кодом	повний	частковий	високий
Можливість оптимізації	висока	середня	висока
Використання циклів ЧПК	максимальне	обмежене	максимальне

## ОСНОВНІ ЦИКЛИ ОБРОБЛЕННЯ В СИСТЕМАХ З ЧПК

ЦИКЛИ ОБРОБЛЕННЯ В СИСТЕМАХ ЧПК					
1. ЦИКЛИ СВЕРДЛІННЯ	2. ЦИКЛИ РОЗТОЧУВАННЯ	3. ЦИКЛИ НАРІЗАННЯ РІЗЬБИ	4. ЦИКЛИ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ	5. ЦИКЛИ КИШЕНЬКОВОЇ ОБРОБКИ	
<p>G81 – свердління G82 – свердління з витримкою G83 – глибоке свердління G73 – швидкісне глибоке свердління</p>  <p>Виконання отворів заданої глибини з автоматичним підведенням та відведенням інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y – координати отвору</li> <li>• Z – глибина свердління</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – подача</li> </ul>	<p>G85 – розточування G86 – розточування з витримкою G87 – розточування з відведенням G89 – розточування з витримкою та відведенням</p>  <p>Розширення та оброблення отворів з підвищеною точністю та якістю поверхні.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y – координати отвору</li> <li>• Z – глибина розточування</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – подача</li> <li>• P – час витримки (для G86, G89)</li> </ul>	<p>G84 – нарізання різьби мітчиком G32 – нарізання різьби (токарні) G76 – нарізання різьби багатопрохідне</p>  <p>Нарізання внутрішньої або зовнішньої різьби з синхронізацією обертання шпинделя та подачі.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X, Y (або X) – координати</li> <li>• Z – глибина нарізання</li> <li>• R – безпечна площина</li> <li>• F – крок різьби</li> <li>• S – частота обертання шпинделя</li> </ul>	<p>G41/G42 – корекція радіуса інструмента G40 – скасування корекції G01 – лінійна інтерполяція G02/G03 – кругова інтерполяція</p>  <p>Оброблення зовнішніх та внутрішніх контурів із застосуванням корекції радіуса інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Координати опорних точок контуру</li> <li>• G41/G42 – напрямок корекції</li> <li>• F – подача</li> <li>• S – частота обертання шпинделя</li> </ul>	<p>G15 – прямокутна кишенька G16 – кругла кишенька G17 – довільна кишенька G18 – острівець</p>  <p>Вибірка матеріалу всередині контуру (кишеньки) з оптимізацією траєкторії руху інструмента.</p> <p><b>Параметри циклу</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Габарити кишеньки (довжина, ширина, радіус тощо)</li> <li>• Глибина оброблення</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Крок зміщення (step over)</li> <li>• Тип входу/виходу інструмента</li> </ul>	
6. ДОПОМІЖНІ ТА ІНШІ ЦИКЛИ					
<p>G00 – швидке позиціонування</p>  <p>Швидке переміщення інструмента між позиціями.</p>	<p>G04 – витримка часу</p>  <p>Затримка виконання на заданий час.</p>	<p>G28 – повернення в нуль</p>  <p>Повернення інструмента в початкову точку верстата.</p>	<p>G30 – друга нульова точка</p>  <p>Переміщення в задану нульову точку верстата.</p>	<p>G53 – переміщення в машинних координатах</p>  <p>Переміщення без урахування робочих систем координат.</p>	<p>M05, M08, M09 тощо</p>  <p>Керування шпинделем, охолодженням, зміною інструмента та ін.</p>
<p>Цикли свердління    Цикли розточування    Цикли нарізання різьби    Контурні цикли    Кишенькові цикли    Допоміжні цикли</p>					

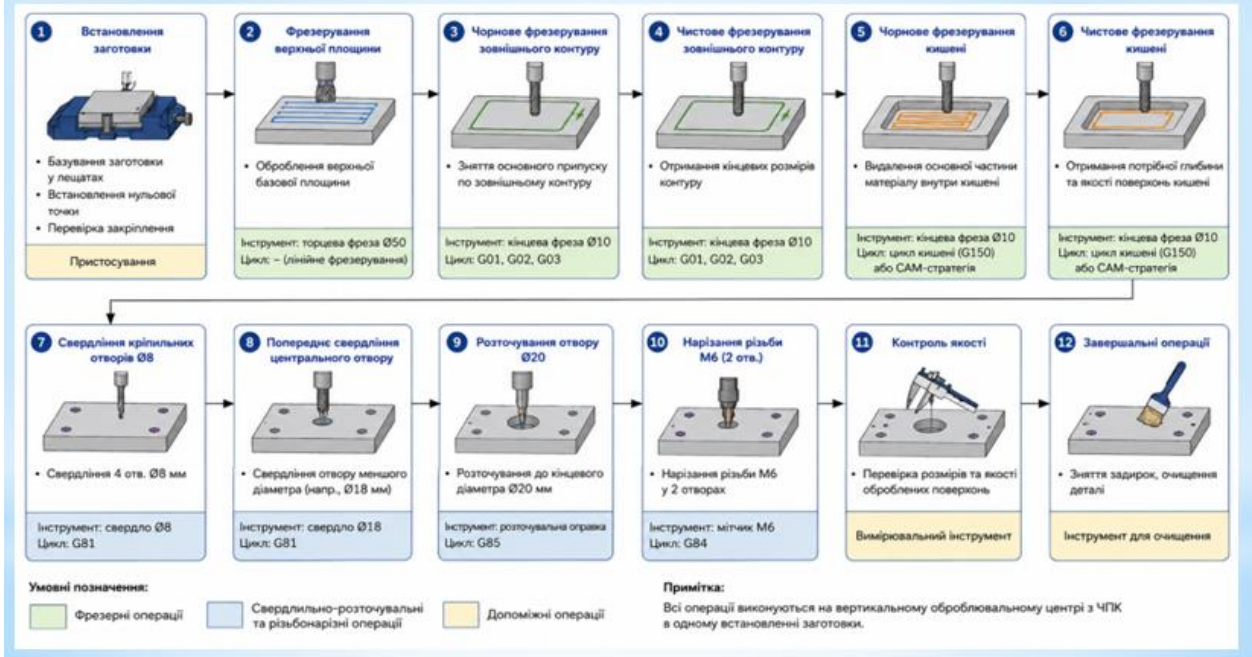
## ЗАГОТОВКА ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ






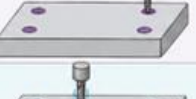

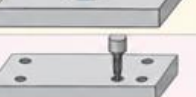


## СТРУКТУРА ОБРАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ



## ЗАГАЛЬНА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МАРШРУТУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК



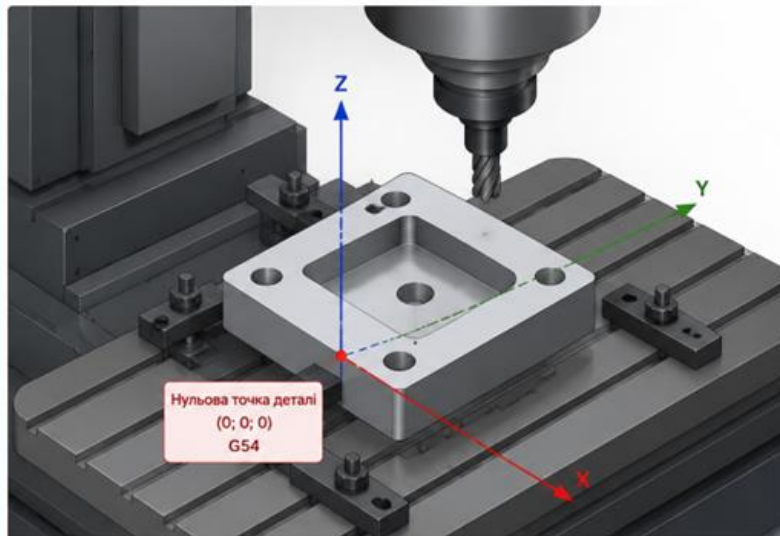
## ВІДПОВІДНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ ЦИКЛАМ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ

№ п/п	Технологічний перехід	Ескіз оброблення	Використований цикл	Позначення циклу (для ЧПК FANUC)	Основні параметри циклу
1	Фрезерування верхньої площини		Лінійне фрезерування (без циклу)	<b>G01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Подача (F)</li> <li>• Швидкість шпинделя (S)</li> <li>• Глибина різання (Z)</li> </ul>
2	Контурне фрезерування зовнішнього контуру		Контурне фрезерування (лінійна та кругова інтерполяція)	<b>G01, G02, G03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Подача (F)</li> <li>• Швидкість шпинделя (S)</li> <li>• Корекція радіуса інструмента (G41/G42)</li> </ul>
3	Оброблення прямокутної кишені (чорнове та чистове)		Цикл кишенькового фрезерування	<b>G150 (Siemens) або цикл кишені (у CAM-системі)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина кишені (Z)</li> <li>• Припуск на чистову обробку</li> <li>• Ширина інструмента</li> <li>• Крок проходу</li> </ul>
4	Свердління отворів Ø8 мм (кріпильні)		Цикл свердління	<b>G81</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина свердління (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Подача (F)</li> </ul>
5	Глибоке свердління (за потреби)		Цикл глибокого свердління	<b>G83</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина свердління (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Крок відводу (Q)</li> </ul>
6	Розточування центрального отвору Ø20 мм		Цикл розточування	<b>G85</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Діаметр отвору</li> <li>• Глибина розточування (Z)</li> <li>• Подача (F)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> </ul>
7	Нарізання різьби M6 (2 отв.)		Цикл нарізання різьби	<b>G84</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глибина різьби (Z)</li> <li>• Площина відводу (R)</li> <li>• Крок різьби (подача F)</li> </ul>
8	Скасування циклу та повернення у звичайний режим		Скасування циклу	<b>G80</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Скасування активного циклу оброблення</li> </ul>

## ВІДПОВІДНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ТА ЦИКЛІВ ОБРОБЛЕННЯ

Технологічна операція	Використаний цикл
Фрезерування площини	G01
Контурне фрезерування	G01, G02, G03
Оброблення кишені	цикл кишенькового фрезерування
Свердління отворів Ø8 мм	G81
Глибоке свердління	G83
Розточування отвору Ø20 мм	G85
Нарізання різьби M6	G84
Скасування циклу	G80

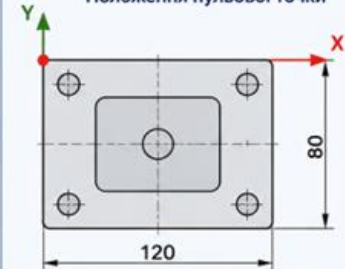
## СИСТЕМА КООРДИНАТ ТА НУЛЬОВА ТОЧКА ДЕТАЛІ



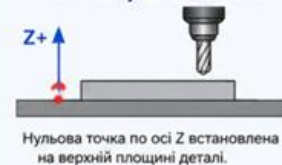
Система координат верстата (Machine Coordinate System)  
 X – вісь подачі вздовж стола (вправо +)  
 Y – вісь подачі поперек стола (від оператора +)  
 Z – вісь подачі вертикально (вгору +)

Система координат деталі (Work Coordinate System G54)  
 Початок координат встановлено у лівому передньому верхньому куті деталі на її верхній площині.

Положення нульової точки



Висота нульової точки по осі Z



Прив'язка інструмента



Корекція довжини інструмента (H) активується командою G43.

### Призначення системи координат

- Забезпечує точне позионування інструмента відносно деталі.
- Дозволяє виконувати всі технологічні операції з необхідною точністю.

## КЕРУЮЧА ПРОГРАМА ДЛЯ ВЕРСТАТА З ЧПК (FANUC)

### Фрагмент керуючої програми (FANUC)

```

N10 %
N20 O1001 (ПРОГРАМА ОБРОБКИ ДЕТАЛІ)
N30 G54 G90 G17 G40 G80 G49
N30 G21
(1. ФРЕЗЕРУВАННЯ ВЕРХНЬОЇ ПЛОЩИНІ)
N40 T01 M06 (ТОРЦЕВА ФРЕЗА Ø50)
N50 S1200 M03
N60 G00 X0 Y0 Z50.
N70 G43 H01 Z10.
N80 G01 Z-2.0 F300
N90 G01 X120.0 Y80.0 F600
N100 G01 X0 Y0
N110 G00 Z50.0
N120 M05

(2. ОБРОБЛЕННЯ КИШЕНІ - ЦИКЛ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ)
N130 T02 M06 (КІНЦЕВА ФРЕЗА Ø10)
N140 S1800 M03
N150 G00 X20.0 Y15.0 Z10.
N160 G43 H02 Z5.0
N170 G01 Z-5.0 F200
N180 G65 P1 X20.0 Y15.0 I80.0 J50.0 D5.0 (КИШЕНІ)
N190 G00 Z50.0
N200 M05

(3. СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ - ЦИКЛ G81)
N210 T03 M06 (СВЕРДЛО Ø8)
N220 S1500 M03
N230 G43 H03 Z5.0
N240 G81 X20.0 Y20.0 Z-15.0 R5.0 F150
N250 X100.0
N260 Y60.0
N270 X20.0
N280 G80

(3. РОЗТОУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТВОРУ - ЦИКЛ G85)
N290 T04 M06 (РОЗТОЧУВАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ)
N300 S1500 M03
N310 G43 H04 Z5.0
N320 G85 X60.0 Y40.0 Z-18.0 R5.0 F100
N330 G80

(5. НАРІЗАННЯ РІЗЬБИ M6 - ЦИКЛ G84)
N340 T05 M06 (МІТЧИК M6)
N350 S800 M03
N360 G43 H05 Z5.0
N370 G84 X100.0 Y40.0 Z-15.0 R5.0 P1.5 F120
N380 G80
N390 G80 Z50.0
N400 M30
%
```

### Умовні позначення

Позначення	Пояснення
G00	Швидке переміщення
G01	Лінійне інтерполювання
G17	Площина XY
G21	Міліметри
G54	Система координат деталі
G81	Цикл свердління
G84	Цикл нарізання різьби
G85	Цикл розточування
M03	Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
M05	Зупинка шпинделя
M30	Кінець програми
Txx	Вибір інструмента
Sxxx	Частота обертання шпинделя, об/хв
Fxxx	Подача, мм/хв

### Послідовність виконання операцій



### Використані інструменти



**T01**  
Торцева фреза  
Ø50 мм



**T02**  
Кінцева фреза  
Ø10 мм



**T03**  
Свердло  
Ø8 мм



**T04**  
Розточувальний  
інструмент

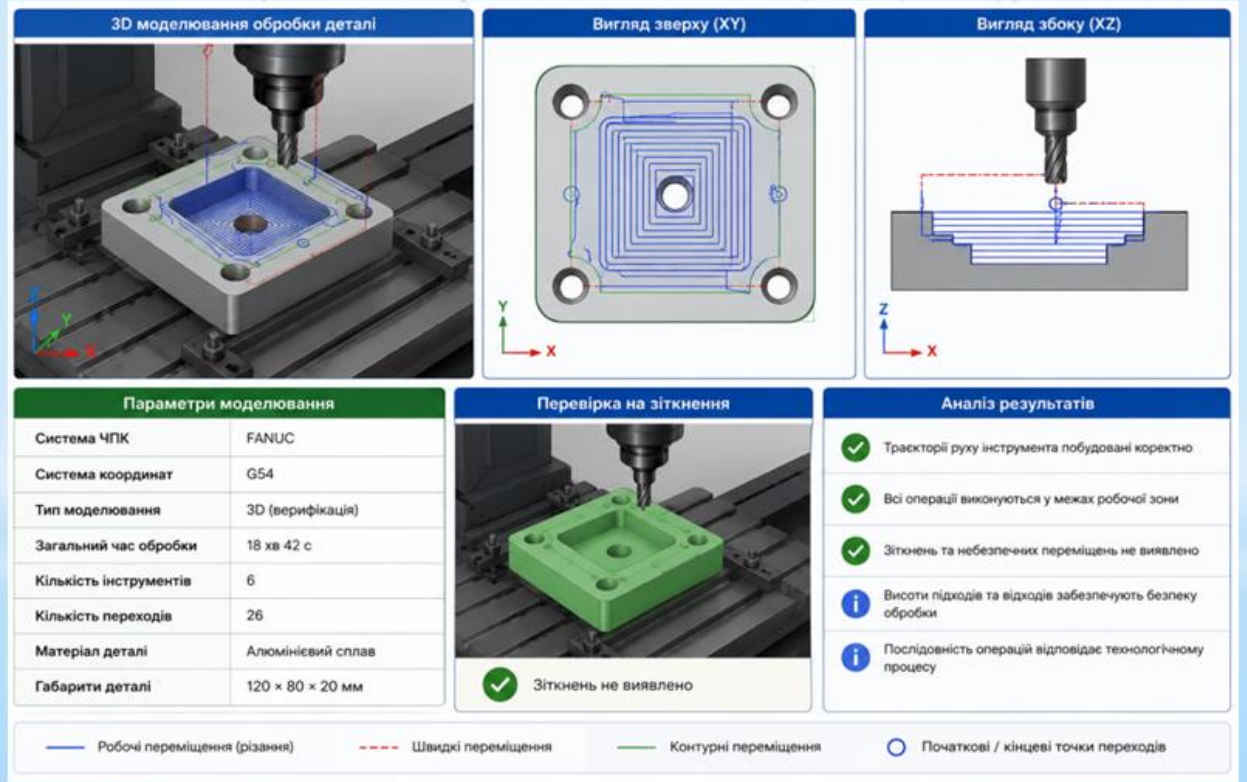


**T05**  
Мітчик  
M6

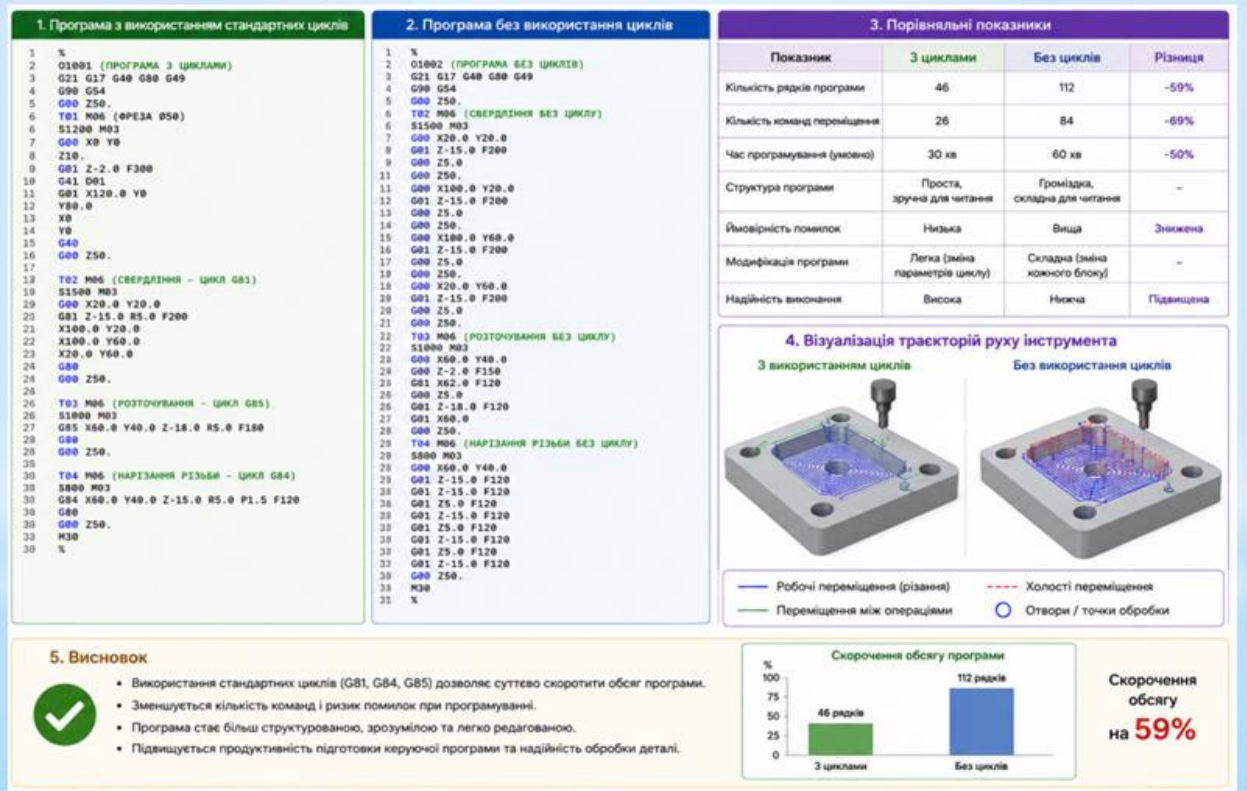
### Особливості програми

- Використано стандартні цикли (G81, G84, G85)
- Скорочено обсяг коду
- Спрощено редагування та супровід
- Підвищено надійність виконання операцій

## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ІНСТРУМЕНТА



## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ТА БЕЗ ЦИКЛІВ



## ОХОРОНА ПРАЦІ



## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення керуючої програми для обладнання з ЧПК сучасних методів програмування ЧПК та досліджено можливості використання циклів для автоматизації технологічних операцій. Обґрунтовано вибір обладнання, інструментального оснащення та системи керування FANUC для виготовлення заданої деталі. Розроблено маршрут механічної обробки та визначено послідовність виконання технологічних переходів. Для реалізації операцій оброблення використано стандартні цикли G81, G83, G84 та G85. Створено керуючу програму, яка забезпечує виконання всіх необхідних операцій відповідно до вимог креслення. Проведене моделювання підтвердило правильність побудови траєкторій руху інструмента та відсутність зіткнень під час оброблення. Аналіз результатів показав, що застосування стандартних циклів дозволяє скоротити обсяг програмного коду приблизно на 40 - 50 %, спростити його структуру та підвищити надійність програмування. Розглянуто питання охорони праці та запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов роботи оператора ПК.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої методики та керуючої програми під час підготовки виробництва на підприємствах машинобудівної галузі.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а всі завдання виконані в повному обсязі.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !**