



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект (роботу) Дослідження принципів розробки
(вказати тему дипломного проекту (роботи))постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX і створення
постпроцесору для фрезерного верстату зі стійкою ЧПК WL4M
Студент Букарьова Олександра ОлександрівнаСпеціальність 131-Прекладна механіка група М-113МОбсяг проекту (роботи) повний

Кількість аркушів креслення

Кількість сторінок пояснювальної записки 92

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень Розроблено
методика створення постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX.
Здійнято реалізацію постійних функцій. Створено постпроцесор для
фрезерного верстату зі стійкою ЧПК WL4M. Перевірено правильність
роботи створеного постпроцесора на верстаті. Вироблені заходи
з техніки безпеки, санітарії та гігієни праці, а також потенцій
бувають ризик неможливого виникнення небезпечних та шкідливих
умов

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню робота
відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту
(роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і
передовим методам роботи

При виконанні кожного розділу використовувалися
останні дані про стан IT технологій

г) негативні особливості виконання проекту (роботи) На сирійшій
такавості керування інструментом при відрізюванні
цимлю ГР4 нерозставлено коректно показано
кінцеве положення інструменту

д) позитивні особливості Робота виконана на високому технічному рівні з використанням сучасного програмного забезпечення. Автор чітко розділяє зображення роботи та процесів.

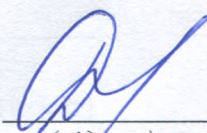
е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи) Графічний матеріал наведений у вигляді презентації і повністю розкриває можливість виконання роботи

є) відгук про роботу загалом Робота виконана в повному обсязі

ж) інші зауваження

з) оцінка проекту (роботи) Представлена робота заслуговує оцінки "відмінно", а її автор присуджується кваліфікації майстер з технології машинобудування

Рецензію склав Зав. каф. ТМБ Діодор С. І.
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

« 05 » грудня 20 18 р.

[16:56:18] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №532 [2] (200030 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[16:57:15] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №537 [2] (200050 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[16:57:28] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №542 [2] (200018 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[16:57:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №547 [2] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[16:58:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №552 [2] (200025 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[16:59:54] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №557 [2] (200050 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:00:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №562 [2] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:00:29] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №567 [2] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:01:37] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №572 [2] (200037 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:01:56] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №577 [2] (200027 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:02:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №582 [2] (200034 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[17:02:13] Тип проверки: *Стандартная*

[17:02:13] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 26%)**

[17:02:13] **Уникальность текста 73%[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Букарева О.О., провів
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.



13.12.2018р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Технології машинобудування
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Дослідження принципів розробки постпроцесорів
для програмного пакету Siemens NX і створення постпроце-
сора для фрезерного верстату зі стійкою ЧПК WL4M

Виконав: студент VI курсу, групи М-113,
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Букарєва О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Логоцінов В.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дядя С.І.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
20 18 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Другий (магістерський)
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ТМБ
 доц. Дядя С.І.
 “ 05 ” _____ 12 _____ 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Букарєвій Олександрі Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження принципів розробки постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX і створення постпроцесора для фрезерного верстату зі стійкою ЧПК WL4M

керівник проекту (роботи) к.т.н. Логомінов Віктор Олексійович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26 ” _____ 11 _____ 2018 року №366

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 06 грудня 2018

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Фрезерний верстат моделі MC 6104-13W K зі стійкою числового програмного керування WL4M та технічна документація до них, технічна документація до генератора постпроцесорів Post Builder

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд літературних джерел, дослідження принципів розробки постпроцесорів, реалізація постійних циклів, перевірка роботи створеного постпроцесора, охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Науково-дослідний	Логомінов В.О. к.т.н	27.09.2018	
Охорона праці	Шмирко В.І. доцент	10.10.2018	
Нормо-контроль	Кононов В.В. доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 27 вересня 2018 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	12.10.2018	
2	Дослідження принципів розробки постпроцесорів. Послідовність створення нового постпроцесора	26.10.2018	
3	Реалізація постійних циклів. Особливості завдання постійних циклів у СЧПК WL4M	8.11.2018	
4	Забезпечення реалізації постійних циклів за допомогою генератора постпроцесорів Post Builder	16.11.2018	
5	Перевірка роботи створеного постпроцесора. Програмування обробки тестової деталі у середовищі Siemens NX	23.11.2018	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	30.11.2018	

Студент

_____ Букарєва О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Логомінов В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 95 стор., 3 табл., 37 рис., 18 джерел, 8 додатків

Об'єкт дослідження – розробка постпроцесора для програмного пакету Siemens NX.

Метод дослідження – аналіз базових постпроцесорів, синтез нового постпроцесора, комп'ютерне моделювання роботи синтезованого постпроцесора та експериментальна перевірка його роботи.

Мета роботи – дослідження принципів розробки постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX і створення постпроцесора для фрезерного верстату зі стійкою ЧПК WL4M.

В ході виконання магістерської роботи був проведений огляд літературних джерел, в яких описується принципи роботи верстатів з числовим програмним керуванням, створення керуючих програм та правила роботи постпроцесорів. Було створено методику розробки постпроцесора для фрезерного верстата зі стійкою ЧПК WL4M за допомогою вбудованого до системи автоматизованого проектування Siemens NX редактора постпроцесорів Post Builder. Детально описано особливості реалізації постійних циклів для заданої системи числового програмного керування. За допомогою програмування обробки тестової деталі у середовищі Siemens NX та опрацювання її створеним постпроцесором отримано керуючу програму, яку було використано для перевірки правильності роботи постпроцесора. Також було проведено аналіз потенційних небезпек при проведенні досліджень у навчальній аудиторії, обладнаній персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами, було запропоновано заходи з охорони праці, спрямовані на зменшення дії шкідливих факторів.

ПОСТПРОЦЕСОР, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ, ЦИКЛ, ВЕРСТАТ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГРАМУВАННЯ, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, КАДР, ОБРОБКА, ТРАЄКТОРІЯ, SIEMENS NX, POST BUILDER

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	10
1.1 Процес створення керуючої програми.....	10
1.2 Системи числового програмного керування.....	13
1.3 Системи автоматизованого проектування.....	15
1.4 Класифікація методів постпроцесування.....	18
1.5 Огляд програмного пакету Siemens NX.....	19
1.6 Висновки.....	21
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОЗРОБКИ ПОСТПРОЦЕСОРІВ.....	23
2.1 Послідовність створення нового постпроцесора.....	23
2.2 Висновки.....	33
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПОСТІЙНИХ ЦИКЛІВ.....	34
3.1 Особливості завдання циклів у СЧПК WLM.....	34
3.2 Забезпечення реалізації постійних циклів за допомогою генератора постпроцесорів Post Builder.....	38
3.3 Висновки.....	42
4 ПЕРЕВІРКА РОБОТИ СТВОРЕНОГО ПОСТПРОЦЕСОРА.....	43
4.1 Програмування обробки тестової деталі у середовищі Siemens NX.....	43
4.2 Висновки.....	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	59
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	61
5.3 Вплив використання постпроцесора на небезпечні та шкідливі фактори.....	64
5.4 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	66
5.5 Заходи з пожежної безпеки.....	70

5.6 Основні норми поводження і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин.....	71
ВИСНОВКИ.....	74
ДОДАТОК А Перелік підготовчих функцій.....	75
ДОДАТОК Б Перелік допоміжних функцій.....	77
ДОДАТОК В Назви слів з переліком адрес та діапазонів використовуваних значень СЧПК WL4M.....	78
ДОДАТОК Г Операційна карта операції фрезерної з ЧПК.....	79
ДОДАТОК Д Карта ескізів операції фрезерної з ЧПК.....	81
ДОДАТОК Е Керуюча програма обробки деталі «Блок».....	84
ДОДАТОК Є Результати перевірки роботи постпроцесора на стійці СПК WL4M.....	88
ДОДАТОК Ж Презентація магістерської роботи.....	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЧПК – числове програмне керування

САПР – системи автоматизованого проектування

КП – керуюча програма

СЧПК – система числового програмного керування

ПК з ВДТ – персональний комп'ютер з візуальним дисплейним терміналом

ВСТУП

Одним з найважливіших якостей, котрим повинно володіти сучасне підприємство є його гнучкість, тобто здатність переналаджувати виробництво на випуск іншого виду продукції за короткий час та з мінімальними витратами часу та праці. Саме тому важко уявити сучасне машинобудівне підприємство, що розвивається без верстатів з числовим програмним керуванням. Їх використання дозволяє підвищити якість продукції, скоротити час випуску продукції та її собівартість. Обробка на таких верстатах відбувається за керуючою програмою, процес створення якої можна автоматизувати за допомогою використання сучасних систем автоматизованого проектування. Це дозволить скоротити час на підготовку виробництва, зменшити кількість помилок, що виникають через людський фактор при проектуванні та оформленні, зробити процес створення керуючої програми більш гнучким, завчасно провести перевірку керуючої програми на комп'ютері за допомогою візуалізації процесу обробки.

Автоматизація отримання керуючої програми неможлива без наявності налагодженого під задану комбінацію «верстат – стійка ЧПК» постпроцесора. Він використовується для перетворення траєкторії переміщення інструменту, що отримується при програмуванні обробки у систем автоматизованого проектування, у керуючу програму, яка відповідає вимогам верстата та системи числового програмного керування. Неправильна робота постпроцесора може призвести до поломки деталі, оснащення та верстату, травмувати оператора та завдати значних збитків. Тому важливо дослідити принципи розробки постпроцесорів.

Перелік основних задач дослідження включає в себе:

1. Розробка методики створення постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX.

2. Забезпечення реалізації постійних циклів, формат яких індивідуальний для кожної системи числового програмного керування.

3. Створення постпроцесора для фрезерного верстата зі стійкою ЧПК WL4M.

4. Запрограмувати обробку тестової деталі у середовищі системи автоматизованого проектування Siemens NX та отримати керуючу програму за допомогою створеного постпроцесора.

5. Перевірити правильність роботи постпроцесора на верстаті, використовуючи отриману керуючу програму.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Процес створення керуючої програми

Сучасні підприємства повинні випускати продукцію високої якості, більш низької вартості та за менший час для того, аби бути конкурентоспроможними на ринку. В умовах сучасного ринку, для машинобудівних підприємств одним з рішень оптимізації є заміна універсальних верстатів на верстати з числовим програмним керуванням.

Числове програмне керування (далі ЧПК) – це керування обробкою заготовки на верстаті по керуючій програмі, в котрій дані про обробку задані в цифровому вигляді [1].

Порівняно з універсальними верстатами, верстати з ЧПК мають ряд значних переваг [1]:

- вища у 1,5-2,5 разів продуктивність ніж у універсальних верстатів;
- гнучкість універсального обладнання поєднується з точністю та продуктивністю верстатів-автоматів;
- знижується потреба у висококваліфікованих працівниках;
- можливість автоматизації етапу підготовки виробництва;
- можливість автоматичного контролю та діагностики обладнання та процесу обробки;
- деталі, виготовлені за одною програмою, є взаємозамінними, що скорочує час пригонювальних робіт в процесі зборки;
- скорочення строків підготовки та переходу на виготовлення нових деталей завдяки використанню більш простого та універсального технологічного оснащення;
- зниження тривалості циклу виготовлення деталі.

Використовуються системи автоматизованого проектування (далі САПР) на двох найважливіших етапах життєвого циклу виробу: розробки та виробництва дозволяє автоматизувати та зв'язати одну з одною задачі

проектування та виробництва, які раніше займали досить багато часу та не були пов'язані одна з одною. Таким чином скорочується тривалість та собівартість розробки та випуску продукції.

На етапі підготовки виробництва можливо автоматизувати процес складання керуючих програм обробки деталі на верстатах з числовим програмним керуванням. Адже написання керуючої програми безпосередньо на стійці ЧПК значно збільшує час простою обладнання.

Керуюча програма (далі КП) – це сукупність команд на мові програмування, що відповідає заданому алгоритму функціонування верстата по обробці конкретної заготовки [2].

Для сучасних верстатів з ЧПК існує три метода програмування обробки та створення КП [3]:

- ручне програмування – довгий монотонний та одноманітний процес. Такий метод використовується якщо підприємство має невелику кількість верстатів з ЧПК, а оброблювані деталі простої конфігурації;
- програмування на пульті стійки ЧПК – метод при якому КП створюється за допомогою клавіатури, джойстика або сенсорного екрану стійки при верстаті. Сучасні стійки ЧПК пропонують використовувати діалогову мову програмування, котра значно спрощує процес створення КП. При цьому створена програма одразу оптимізована під конкретний верстат;
- програмування за допомогою САПР. Такий метод дозволяє спростити складні інженерні розрахунки та скорочує час створення КП.

В загальному вигляді процес автоматизованого отримання КП виглядає наступним чином [4]:

- визначається геометрія деталі, загальна траєкторія переміщення ріжучого інструменту, подача та частота обертання шпинделя, а також параметри ріжучого інструменту;
- кодується геометрія деталі, траєкторія переміщення ріжучого інструменту і загальні інструкції верстату на мові програмування. Отриманий в

результаті код називається вихідним. Одним з найпоширеніших мов високого рівня є мова APT (Automatically Programmed Tools);

- вихідний код компілюється в список елементарних переміщень ріжучого інструменту та допоміжних відомостей про керування верстатом. Цей список називається CL-файлом (cutter location – CL data file). CL-файл має двійковий формат, але частіше за все супроводжується еквівалентною версією у вигляді тексту. Дані про переміщення ріжучого інструменту представлені або через лінійні переміщення GOTO, або через відносні переміщення GODLTA. Також файл містить команди керування шпинделем, подачею, охолодженням та інші. Формат CL-файлу визначений Міжнародною організацією зі стандартизації (International Organization for Standardization – ISO) та не залежить від типу верстата та системи числового програмного керування (далі СЧПК);

- CL-файл оброблюється постпроцесором, в результаті чого отримуються команди, призначені для керування конкретним верстатом, тобто керуючу програму.

Програма на мові програмування APT складаються з операторів, які об'єднані в 5 груп [4]:

1. ідентифікуючі оператори, такі що задають назву деталі та ім'я конкретного постпроцесора;
2. геометричні оператори, такі що визначають істотні для операцій машинної обробки геометричні особливості деталі;
3. оператори переміщення, такі що керують рухом ріжучого інструменту відносно геометрії деталі;
4. оператори постпроцесора, такі що задають параметри обробки (подача, частота обертання шпинделя, ввімкнення або вимкнення охолодження та інші);
5. допоміжні оператори, такі що керують допоміжними функціями верстата, наприклад, вибір інструменту, встановлення допуску та інші.

1.2 Системи числового програмного керування

Система числового програмного керування (далі СЧПК) складається з пристрою ЧПК, силового електрообладнання, виконавчих органів та датчиків зворотного зв'язку[5]. СЧПК може бути:

- розімкненою – мати один потік інформації, що поступає зі зчитуючого пристрою до виконавчого органу верстата;
- замкнутою – мати два потоки інформації: від зчитуючого пристрою та від датчика зворотного зв'язку;
- адаптивною – мати три потоки інформації: від зчитуючого пристрою, від датчика зворотного зв'язку та від датчиків, встановлених на верстаті та контролюючих процес обробки по всім параметрам (знос ріжучого інструменту, зміну сил різання та тертя, коливання припуску та твердості матеріалу оброблюваної заготовки).

По технологічному призначенню та функціональним можливостям СЧПК поділяються на наступні три групи [5].

До першої групи відносять позиційні, тобто ті в яких задаються координати керування рухом виконавчих органів після виконання ними тих чи інших елементів робочого циклу. В процесі обробки виконавчий орган в визначеній послідовності обходить задані координати по осям X та Y. В цьому випадку спочатку виконується позиціонування виконавчого органу в точці з заданими координатами, а потім обробка. Різновидом позиційних СЧПК є прямокутні СЧПК, в котрих програмуються не точки, а окремі відрізки траєкторії, при цьому повздовжня та поперечна подачі розділені у часі, тобто забезпечується послідовне ввімкнення повздовжньої та поперечної подач. Позиційні системи частіше за все використовуються на свердлильних, розточних та координатно-розточних верстатах.

Контурні СЧПК відносять до другої групи. Вони керують рухом виконавчого органу верстата по заданій траєкторії. При контурній обробці

інструмент рухається відносно заготовки по криволінійній траєкторії, котра отримується в результаті складання рухів по двом або трьом прямолінійним координатам. Подача інструменту в кожен момент обробки складається з повздовжньої та поперечної подач. Таким чином, переміщення інструмента по різним координатним осям функціонально пов'язані одне з одним. Такі СЧПК використовують на токарних, фрезерних та шліфувальних верстатах при обробці фасонних поверхонь.

Універсальні (комбіновані) відносяться до третьої групи. В них відбувається програмування переміщення при позиціонуванні, рух виконавчих органів верстата по траєкторії, а також зміна інструмента та загрузка заготовок. СЧПК такого типу використовуються на обробних центрах та багатоцільових верстатах.

У магістерській роботі дослідження ведеться на основі СЧПК WL4M – моделі адаптивної контурної системи числового програмного керування, що призначена для керування 3-6 координатними фрезерними верстатами, оснащеними регульованими приводами подач [6].

За рівнем використання засобів обчислювальної техніки система WL4M належить до комп'ютеризованих (computer numerical control – CNC). До складу ЧПК такого типу входить [7]:

- пульт оператора, що дозволяє вводити КП та задавати режими обробки вруну;
- дисплей, що використовується для візуального контролю режимів роботи і редагування керуючої програми;
- контролер – це комп'ютеризований пристрій, що вирішує задачі формування траєкторії переміщення ріжучого інструменту, технологічних команд керування пристроями автоматики верстата, загальним керуванням, редагування керуючих програм, діагностики та допоміжних розрахунків;
- постійна пам'ять, що призначена для довготривалого зберігання системних програм і констант. Саме завдяки наявності постійної пам'яті дозволяє використовувати постійні цикли. Вони можуть бути визначені як

стандартні підпрограми та зберігатися в бібліотеці верстата. Будь-яка програма може викликати і використовувати будь-яку підпрограму за допомогою спеціального коду;

- оперативна пам'ять, що призначена для тимчасового зберігання КП та системних програм, що оброблюються в даний момент.

Система WL4M підтримує керуючу програму у форматі зі змінною довжиною кадру та слова; механізм використання циклів та підпрограм; макромову з використанням змінних, засоби розгалуження програм [6].

1.3 Системи автоматизованого проектування

За сферою застосування САПР поділяються на нижчого рівня, середнього та вищого. Системи нижчого рівня призначені для вирішення конкретних задач, наприклад, автоматизації підготовки конструкторської документації. Системи середнього рівня мають ширший діапазон функцій, але для автоматизації повного циклу проектування та підготовки виробництва їм необхідно залучати системи нижчого рівня. Між системами різних рівнів немає асоціативного зв'язку, що не дає змогу переносити топологічну та структурну інформацію з однієї до іншої. Системи вищого рівня дозволяють автоматизувати повний цикл проектування та підготовки виробництва [8].

До складу вищих машинобудівних САПР в якості складових системи входять системи автоматизованого проектування (computer-aided design – CAD), системи автоматизованого виробництва (computer-aided manufacturing – CAM) та системи автоматизованих розрахунків та інженерного аналізу (computer-aided engineering – CAE) [4].

На етапі розробки використовуються CAD та CAE-системи. Функції CAD-систем в машинобудуванні підрозділяють на функції двомірного та тривимірного проектування. До функцій 2D відносять креслення та

оформлення конструкторської документації; до функції 3D – отримання тривимірних геометричних моделей, математичні розрахунки, реалістичну візуалізацію, взаємне перетворення 2D та 3D-моделей. В ряді систем передбачено також виконання процедур позиціювання. До них відносять компоновку та розміщення обладнання.

До важливих характеристик CAD-систем відносяться параметризація та асоціативність. Параметризація передбачає використання геометричних моделей в параметричній формі, тобто представлення геометричних об'єктів змінними, а не константами. Параметрична модель, що знаходиться у базі даних, легко адаптується до різних конкретних умов. При цьому є можливість включення параметричної моделі деталі до моделі збірного вузла з автоматичним визначенням розмірів деталі згідно з просторовими обмеженнями. Ці обмеження у вигляді математичних зав'язків між частинами параметрів збірки відображають асоціативність моделей. При проектуванні збірки зміна розмірів однієї деталі впливає на розміри та розташування інших деталей. Завдяки параметризації та асоціативності зміни в одній частині збірки автоматично переносяться на інші частини, викликаючи зміни відповідних геометричних параметрів в цих частинах.

Основна функція CAE-систем – це оцінка пристосованості моделі до реальних умов експлуатації за допомогою розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів. Засоби CAE-систем дозволяють розрахувати напружено-деформований стан, власних частот та форм коливань, аналіз стійкості, вирішувати задачі теплопередачі, досліджувати лінійні та нелінійні процеси.

Найпрогресивнішим методом проведення інженерних розрахунків є метод кінцевих елементів. Побудована у CAD-системі модель з заданим матеріалом готового виробу розбивається сіткою на кінцеві елементи. До моделі прикладаються обмеження та навантаження для того, аби зімітувати реальні умови експлуатації. Всі вихідні дані передаються у вирішувач у вигляді вихідного файлу. За допомогою вирішувача отримується результат розрахунків

та на основі цих даних конструктором приймається рішення про оптимізацію виробу.

На етапі виробництва значно скоротити час на його підготовку дозволяє використання САМ-систем. Основними функціями САМ-систем є розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки, в тому числі й побудова траєкторії відносного руху інструмента та заготовки в процесі обробки, генерація постпроцесорів для конкретних типів обладнання з ЧПК, розрахунок норм часу обробки.

Будь-яка САМ-система складається з трьох основних модулів [9]:

1. Препроцесор – забезпечує формування геометричної інформації про оброблювану деталь. Така інформація може бути задана двома основними способами: ручне завдання за допомогою графічних засобів САМ-системи і передача геометричної інформації з CAD-системи;

2. Процесор – забезпечує автоматичну або із взаємодією з технологом-програмістом розробку послідовності обробки, вибір різального інструменту, розрахунок режимів різання, розробку траєкторії переміщення інструменту і розрахунок координат опорних точок. Результатом є формування КП на проміжній мові CLDATA;

3. Постпроцесор – забезпечує переклад програми з проміжної мови CLDATA на мову, зрозумілу конкретному верстату з ЧПК з урахуванням усіх його особливостей, в тому числі й технічних характеристик (врахування діапазону подач, діапазону швидкостей, допустимої кількості інструменту й особливості його зміни).

Отже, постпроцесор – це транслятор, перетворюючий сгенерований САМ-системою CL-файл в формат, особливий для кожної конкретної СЧПК. Він перетворює дані про положення ріжучого інструменту, розраховані САМ-системою в коди конкретного верстата з урахуванням особливостей його кінематики [9].

1.4 Класифікація методів постпроцесування

Індивідуальний – метод при якому постпроцесор, який створюється програмістом спеціально для конкретної комбінації «верстат – СЧПК». Після створення постпроцесор потребує тривалого доопрацювання та виправлення помилок. Вносити зміни може лише програміст, що створив даний постпроцесор. Метод негнучкий та дорогий, тому на сьогодні даний метод майже не використовується. Доцільно використовувати даний метод лише для унікального устаткування [9].

Узагальнений – метод при якому постпроцесор, що використовується для декількох однотипних верстатів різних марок але з однією СЧПК. Незначні відмінності в вимогах до структури кадрів КП однотипних верстатів різних виробників можливо виправити за допомогою використання автоматичних коректорів. На спеціальній макромові прописуються коректори, що змінюють кожен кадр КП. Автоматичні коректори в змозі виправити лише символічний рядок кадру КП, але не можуть змінити, наприклад, алгоритм розрахунку інтерполяції або спосіб розрахунку переміщення (абсолют або приріст). Це може призвести до викривлення траєкторії руху інструменту [9].

Універсальний – метод при якому програмістом створюється текстовий файл, що описує алгоритм перетворення даних з CL-файлу в кадри керуючої програми для кожної комбінації «верстат - СЧПК». Інтеграція нового універсального постпроцесору у виробництво відбувається швидше за інші, адже виправлення текстового файлу з описанням алгоритмів виконати простіше за програмування та налагодження постпроцесору. Даний метод доцільно використовувати на підприємствах, які працюють з декількома САМ-системами [9].

Інваріантний – метод при якому постпроцесор створюється у спеціальному вбудованому модулі САМ-системи за допомогою заповнення даних про верстат та СЧПК. Даний метод не вимагає залучення програміста,

отже їм може користуватись звичайний технолог і створити постпроцесор для будь якого верстата та СЧПК. До того ж створений за таким методом постпроцесор дозволяє реалізовувати всі можливості сучасних СЧПК, такі як автоматичні цикли, підпрограми та інші [9].

1.5 Огляд програмного пакету Siemens NX

Siemens NX є одним з програмних рішень по управлінню життєвим циклом виробу від компанії Siemens PLM Software. Siemens NX – інтерактивна система, що включає в себе рішення для конструювання, промислового дизайну, розробки механічних та електромеханічних систем, інженерного аналізу та програмування верстатів з ЧПК. NX відноситься до так званих систем автоматизованого проектування високого рівня, адже володіє широким набором інструментів для автоматизації етапу підготовки виробництва. NX широко використовується провідними світовими компаніями в найрізноманітніших галузях виробництва. Основна задача системи в кінцевому підсумку зводиться до зниженні вартості виготовлення виробу, покращення його якості та скорочення строку виходу на ринок [10].

До складу програмного пакету Siemens NX входить:

CAD-система, що вирішує задачі проектування та розробки конструкторської документації;

CAM-система, що призначена для автоматизованої підготовки керуючих програм обробки для верстатів з ЧПК на основі математичної моделі деталі, створеної у CAD-системі;

CAE-система, що вирішує задачі інженерного аналізу за допомогою методу кінцевих елементів, методу кінцевих різниць та методу кінцевих елементів. Вона забезпечує симуляцію процесів, що імітують реальні умови

експлуатації та перевірку працездатності виробу без значних затрат часу та коштів [11].

Для математичного представлення тривимірної моделі та управління нею в інших складових системи використовується ядро геометричного моделювання Parasolid. Тобто в системі Siemens NX можливо використовувати концепцію майстер-моделі. Суть полягає у тому, що створена одного разу модель деталі або збірки використовується в інших додатках NX в якості вихідних даних у вигляді посилання на неї або асоціативної копії. Всі маніпуляції з моделлю в цих додатках не будуть впливати на модель, але зміни в моделі будуть асоціативно відображатися в додатках, в тому числі і в САМ та САЕ-системах. Якщо всі елементи моделі є асоціативними, то внесені зміни відобразяться на всіх видах креслення, що побудовані на основі цієї моделі. Застосування майстер-моделі дозволяє вести колективну роботу, що суттєво скорочує цикл розробки готового виробу, розділити відповідальність через права доступу, асоціативно оновлення даних при зміні вихідної моделі [12].

В загальному випадку, робота в системі Siemens NX проводиться у наступній послідовності: створюються трьохвимірні моделі всіх частин виробу, а потім об'єднуються у зборки готового. Таким чином отримується трьохвимірна модель майбутнього виробу. Після цього проводиться розрахунок основних деталей методом кінцевих елементів, уточнюються розміри деталей, матеріал. Наступним роком є кінематичний та динамічний аналіз всього механізму та його вузлів з метою перевірки його працездатності. Далі на основі тривимірних моделей деталей створюються креслення всіх деталей, вузлів та механізмів. Також розроблюються технологічні процеси виготовлення деталей [11].

Siemens NX пропонує комплекс рішень для перевірки правильності КП поза верстатом, тобто на робочому місці технолога. Таким чином виключається імовірність поламки обладнання, технологічного оснащення та деталі через помилки у КП та зекономити час, що затратувався на пробну обробку по дереву або без заготовки. Етап перевірки програми на верстаті можна виключити,

переклавши задачі по імітаційному моделюванню та верифікації обробки на САМ-систему.

Ще однією особливістю системи Siemens NX є наявність передової технології розпізнання елементів (feature-based machining - FBM) у САМ-системі. Розпізнаючи типові елементи геометрії NX САМ автоматично створює керуючі програми, що дозволяє скоротити час програмування обробки до 10 разів. Типові елементи можуть вилучатись з дерева побудови, розпізнаватися по геометричній моделі та прямим зазначенням граней з призначенням їх атрибутів. Визначені телеметри групуються за вказаними ознаками. Для кожної групи розраховуються операції, засновані на правилах та шаблонах, підбирається інструмент, метод та параметри обробки. Розпізнавання елементів ведеться на основі твердо тільної моделі. Також є можливість автоматично використовувати дані про розміри, припуски, якість поверхні та технічні умови, що задані для моделі деталі. Технологія обробки кожного типового елемента описана у вже заповненій базі знань, яку можна редагувати за допомогою редактора правил обробки [12].

1.6 Висновки

Проаналізувавши літературні джерела, можна зробити висновки, що автоматизація отримання керуючих програм обробки для верстатів з ЧПК за допомогою систем автоматизованого проектування дозволяє значно підвищити гнучкість виробництва, скоротити витрати та час на випуск готової продукції, підвищити якість виробу. Отримати керуючу програму, яка б забезпечувала безпечну роботу верстату, якісну обробку деталі та не потребувала ручної корекції кадрів, неможливо без постпроцесора, що розроблений спеціально для конкретних умов.

Siemens NX належить до САПР вищого рівня, тобто таких, що мають широкий набір функцій та інструментів для автоматизації повного циклу проектування та підготовки виробництва.

Використання для програмування обробки систем автоматизованого проектування вищого рівня, таких як Siemens NX, та постпроцесорів дозволяє:

- скоротити час на розробку КП;
- скоротити витрати часу за рахунок відсутності необхідності холостих прогонів верстата для перевірки КП;
- підвищити якість продукції за рахунок оптимізації САМ-системою траєкторії переміщення ріжучого інструменту;
- попередити поламку деталі, оснащення та верстату заздалегідь перевібивши КП на комп'ютері;
- зменшити кількість помилок через людський фактор;
- скоротити витрати, що пов'язані з виготовленням макетів та прототипів деталей.

В умовах сучасного ринку, коли підприємства повинні швидко розвиватися та розширюватися, інваріантний метод постпроцесування є найбільш гнучким. Він дає змогу створювати постпроцесори технологом без залучення спеціалістів з програмування. Адже розробка виконується у зручному діалоговому режимі, а не за допомогою складних мов програмування. Можливо створити постпроцесор для будь-якої комбінації «верстат – стійка ЧПК». Редактор постпроцесорів поставляється разом з САПР, тому немає необхідності витрачати додаткові кошти на спеціальні програмні пакети. Зважаючи на це, актуальною є описання методики розробки постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX на прикладі створення постпроцесора для фрезерного верстата зі стійкою ЧПК WL4M.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОЗРОБКИ ПОСТПРОЦЕСОРІВ

2.1 Послідовність створення нового постпроцесора

Post Builder – це вбудований до САМ-системи модуль, що дозволяє створювати та редагувати вже існуючі постпроцесори. Завдяки зручному інтерфейсу створення постпроцесора не потребує спеціальних навичок програмування. Технолог, що працює з Post Builder повинен мати досвід роботи з NX CAM, знати мову програмування верстатів з ЧПК ISO 7 bit та деякі основи мови програмування TCL (Tool Command Language). Робота у Post Builder дозволяє залучити до створення постпроцесора технолога та відмовитись від послуг програмістів. Створений постпроцесор дозволить в повній мірі використати можливості системи автоматизованого проектування Siemens NX та СЧПК.

Методика розроблення постпроцесорів описується на прикладі створення постпроцесора для фрезерного верстата зі стійкою ЧПК WL4M.

На першому етапі створення задаються паспортні дані верстата, котрі вже не можна буде змінити. Для цього у меню «Файл» створюється новий постпроцесор, задається його назва, задаються одиниці вимірювання переміщень робочих органів. В нашому випадку обираються міліметри, отже всі переміщення, а також всі задані за замовчуванням параметри будуть виводитись в міліметрах. Обирається базовий тип верстата [13]. Модуль Post Builder передбачає можливість створити постпроцесори для типів верстатів, що описані у таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Типи верстатів, для яких можливо створити постпроцесор

Назва	Опис
Mill (Фрезерні)	
3-Axis	3-х осьовий верстат, що має 3 лінійні осі (X, Y, Z)

Продовження таблиці 2.1

Назва	Опис
3 Axis Mill Turn (XZC)	Токарно-фрезерний обробляючий центр. Верстат може виводити стандартні координати XYZ або полярні координати X (радіус), Z та C (кут).
4 Axis with Rotary Table	Верстат має 3 лінійні осі (X, Y, Z) та індексний або контурний поворотний стіл (A, B або C).
4 Axis with Rotary Head	Верстат має 3 лінійні осі (X, Y, Z) та індексну або контурну поворотну головку (A, B або C).
5 Axis with Dual Rotary Heads	Верстат має 3 лінійні осі (X, Y, Z) та дві індексні або контурні поворотні головки (A, B або C).
5 Axis with Dual Rotary Table	Верстат має 3 лінійні осі (X, Y, Z) та дві індексні або контурні поворотні столи (A, B або C).
5 Axis with Rotary Head and Table	Верстат має 3 лінійні осі (X, Y, Z), індексну або контурну поворотну головку як четверту ось, а також індексний або контурний поворотний стіл як п'яту ось (A, B або C).
Lathe (Токарні)	
Lathe	Верстат має дві лінійні осі (X та Z).
Wire EDM (Дротова електроерозійна обробка)	
2 Axis	Верстат має 2 лінійні осі.
4 Axis	Верстат має 4 осі. Можливо налаштувати координатний або кутовий вивід положення інструменту.

Для спрощення створення нового постпроцесора обирається базова СЧПК з бібліотеки або існуючої бази. В бібліотеці можливо обрати СЧПК Fanuc, Siemens, Heidenhein. У модулі Post Builder немає можливості обрати СЧПК WL4M, тому обирається найбільш наближена за своїми функціями

Fanuc_30i. Це дозволить не створювати всі команди «з нуля», а корегувати існуючі згідно вимог WL4M. Приклад надається на рисунку 2.1.

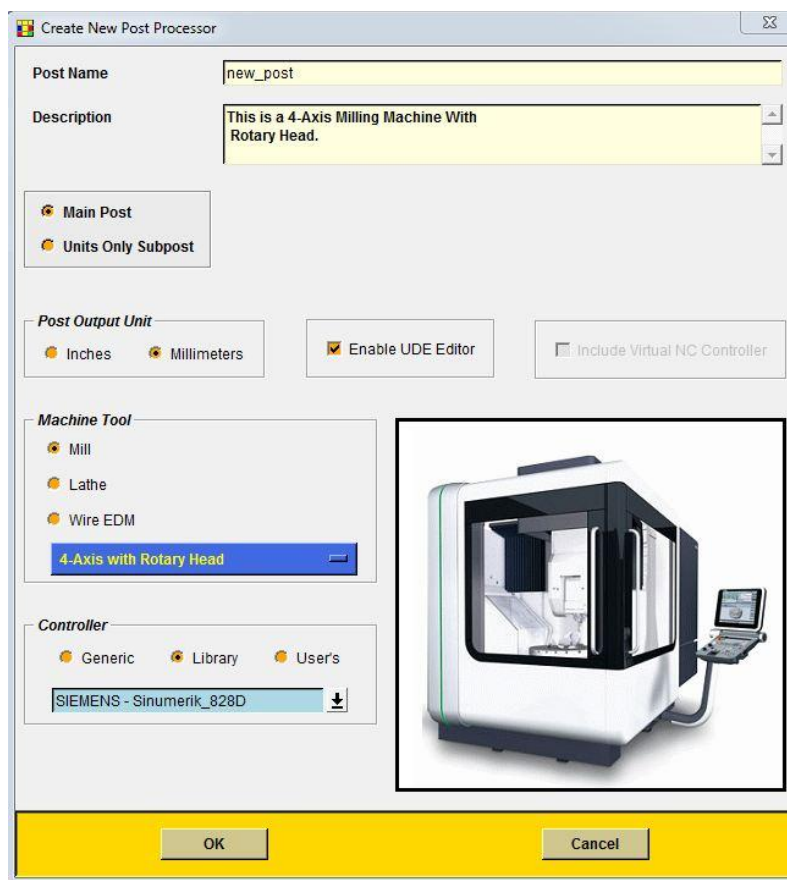


Рисунок 3.1 – Створення нового постпроцесора

Вмикається перевірка команд заданих користувачем:

- Unknown Commands – опція, що дозволяє системі виявляти синтаксичні помилки в імені команди;
- Unknown Blocks – опція, що дозволяє системі виявляти посилання на невідомі кадри;
- Unknown Addresses – опція, що дозволяє системі виявляти посилання на невідомі адреси;
- Unknown Formats – опція, що дозволяє системі виявляти посилання на невідомі формати.

Задаються основні параметри верстата (General Parameters), такі як максимальні значення переміщення по осям X, Y, Z, точність позиціювання, максимальна швидкість переміщення. Приклад надається на рисунку 2.2.

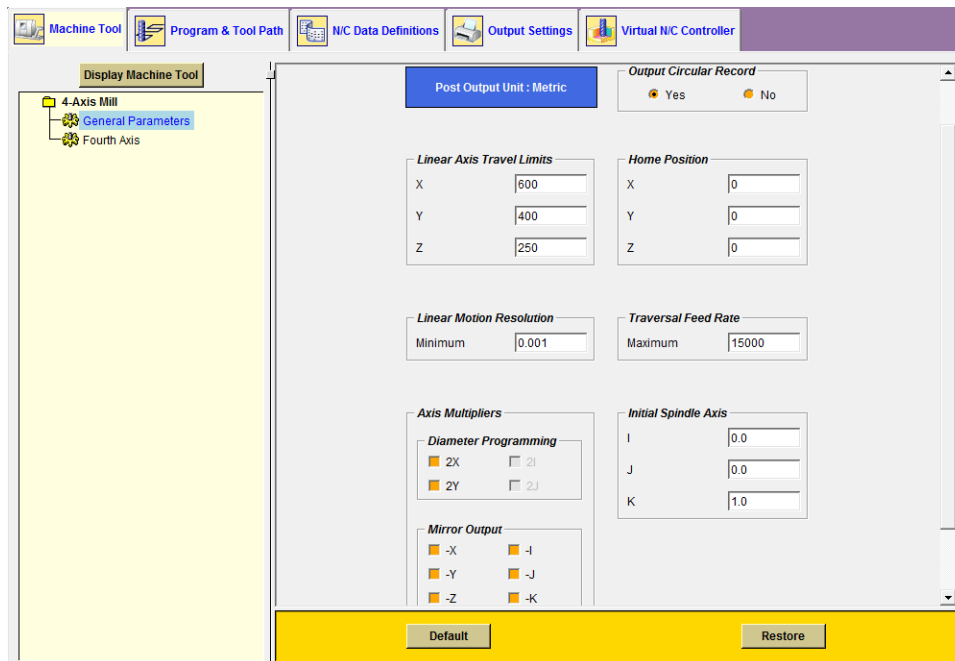


Рисунок 2.2 – Основні параметри верстата

Задаються параметри четвертої осі (Fourth Axis), такі як точність обертання, максимальний кут обертання, вісь обертання та позначення в програмі.

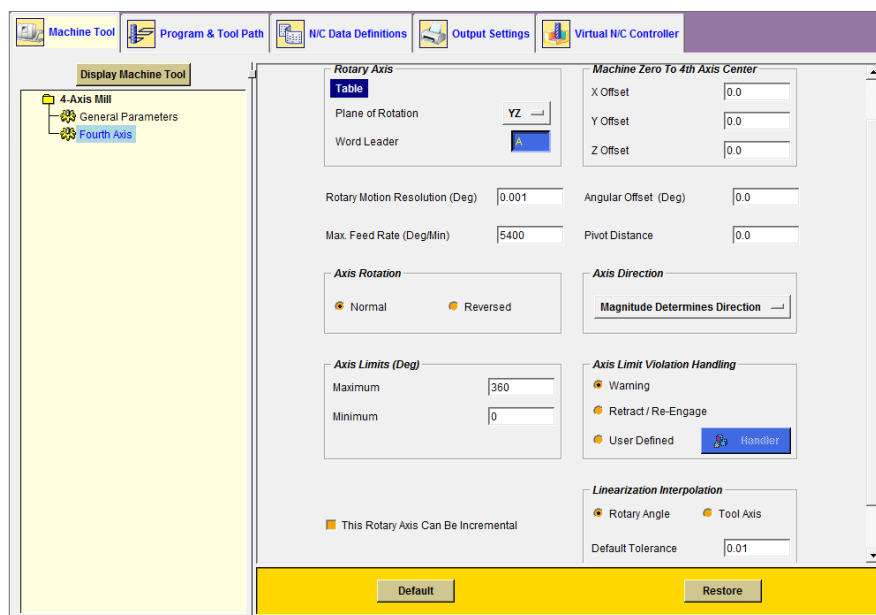


Рисунок 2.3 – Параметри четвертої осі

Завдаються значення підготовчих функцій (G Codes). Список підготовчих функцій надається у додатку А. Та завдаються допоміжні функції (M Codes). Список допоміжних функцій надається в додатку Б. Приклад завдання підготовчих та допоміжних функцій надаються на рисунку 2.4.

Motion Rapid	G	0	Cycle Drill Break Chip	G	83	Stop/Manual Tool Change	M	0
Motion Linear	G	1	Cycle Tap	G	84	Opstop	M	1
Circular Interperlation CLW	G	2	Cycle Bore	G	85	Program End	M	2
Circular Interperlation CCLW	G	3	Cycle Bore Drag	G	86	Spindle On/CLW	M	3
Delay (Sec)	G	4	Cycle Bore No Drag	G	85	Spindle CCLW	M	4
Delay (Rev)	G	4	Cycle Bore Dwell	G	89	Spindle Off	M	5
Plane XY	G	17	Cycle Bore Manual	G	88	Tool Change/Retract	M	6
Plane ZX	G	18	Cycle Bore Back	G	87	Coolant On	M	8
Plane YZ	G	19	Cycle Bore Manual Dwell	G	88	Coolant Flood	M	8
Cutcom Off	G	40	Absolute Mode	G	90	Coolant Mist	M	7
Cutcom Left	G	41	Incremental Mode	G	91	Coolant Thru	M	26
Cutcom Right	G	42	Cycle Retract (AUTO)	G	98	Coolant Tap	M	27
Tool Length Adjust Plus	G	43	Cycle Retract (MANUAL)	G	99	Coolant Off	M	9
Tool Length Adjust Minus	G	44	Reset	G	92	Rewind	M	30

Рисунок 2.4 – Завдання підготовчих та допоміжних функцій

Задається формат всіх слів, що будуть виводитися в програмі у вкладці (Word Summary). Слово – це визначена послідовність символів, що відповідає операції [14]. Слово містить технологічну та геометричну інформацію та адресу, по якій записується дана інформація. Кожне слово має формат, який може бути текстовим або чисельним. Також задається кількість знаків при виводі слів у КП, вивід ведучих та кінцевих нулів та ціле число чи десяткове. Значення слів повинні відповідати міжнародному стандарту ISO6983-1:2009 [15]. Перелік слів, що використовуються при програмуванні обробки для СЧПК WL4М надається у додатку В. Приклад надається на рисунку 2.5.

Word	Leader/Code	Data Type	Plus (+)	Lead Zero	Integer	Decimal (.)	Fraction	Trail Zero
G_adjust	G 43	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_plane	G 17	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_feed	G 94	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_spin	G 97	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_return	G 99	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_motion	G 1	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_mode	G 90	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G_cutcom	G 40	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒
G	G 1	☒ Numeric ☐ Text	☐	☐	2	☐	0	☒

Рисунок 2.5 – Формати слів

Кадр – це послідовність слів, що утворюють інформацію для однієї робочої операції та розташовані в одному текстовому рядку [12]. Слова у кадрі КП повинні розташовуватися у певній послідовності. Для СЧПК WL4М порядок слів у кадрі повинен відповідати стандарту EIA RS-274D (Interchangeable Block Data Format for NC Machines). Довжина кадру не повинна перевищувати 80 символів. Слово N повинно стояти першим у кадрі. Всі інші слова можуть розташовуватися у довільному порядку. При повторенні слів з

однією адресою в одному кадрі буде відпрацьовуватись останнє слово. Допускається використовувати декілька слів з адресами G та M. Будь-яке слово може бути пропущено у кадрі, якщо воно не обов'язкове. Порядок слів у кадрі для створюваного постпроцесора задається у вкладці (Word Sequencing) надається на рисунку 2.6.

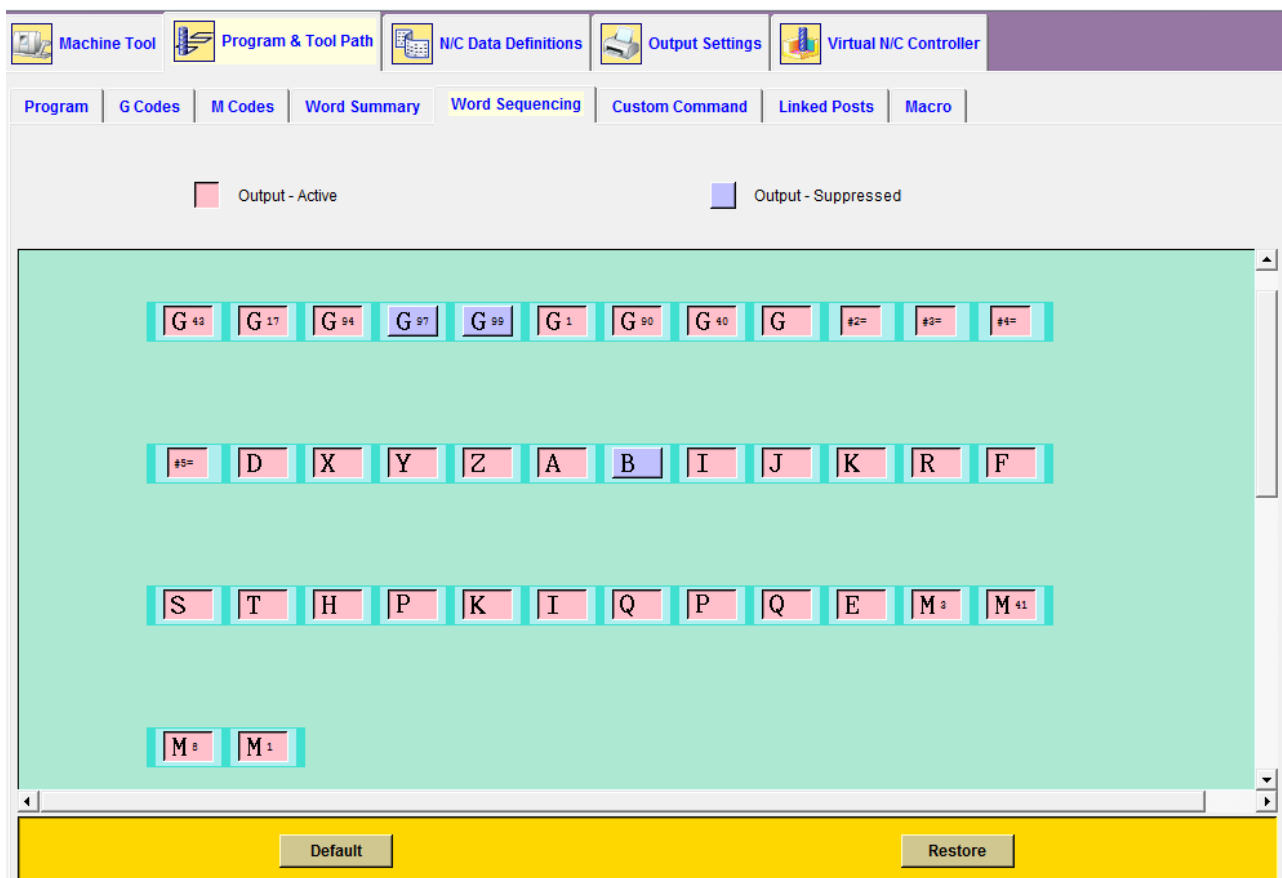


Рисунок 2.6 – Порядок слів у кадрі

Описуються події на початку програми (Program Start Sequence). Приклад надається на рисунку 2.7. На початку програми є обов'язковим виконання так званого рядка безпеки. Цей рядок містить G-коди, котрі переводять СЧПК до певного стандартного режиму, відмінюючи непотрібні функції та забезпечують безпечну роботу верстата з керуючою програмою. Деякі G-коди є модальними і залишаються в пам'яті СЧПК поки їх не скасують. Для впевненості, що не скасовані G-коди не вплинуть на КП, необхідно вивести

рядок безпеки на початку програми, а також після зміни інструменту. Приклад рядка безпеки під номером 15 наводиться нижче:

N15 G0 G17 G40 G49 G53 G80 G90 G94

N15 – номер рядка;

G0 – код, що активує прискорене переміщення;

G17 – код, що задає площину обробки XY;

G40 – код, що скасовує автоматичну корекцію на радіус інструменту;

G49 – код, що скасовує автоматичну корекцію на довжину інструменту;

G53 – код, що повертає до систем координат верстата;

G64 – код, що активує автоматичний розрахунок швидкості в кінці кадру;

G80 – код, що скасовує всі автоматичні цикли;

G90 – код, що активує роботу в абсолютних координатах;

G94 – код, що задає подачу в мм/хв.

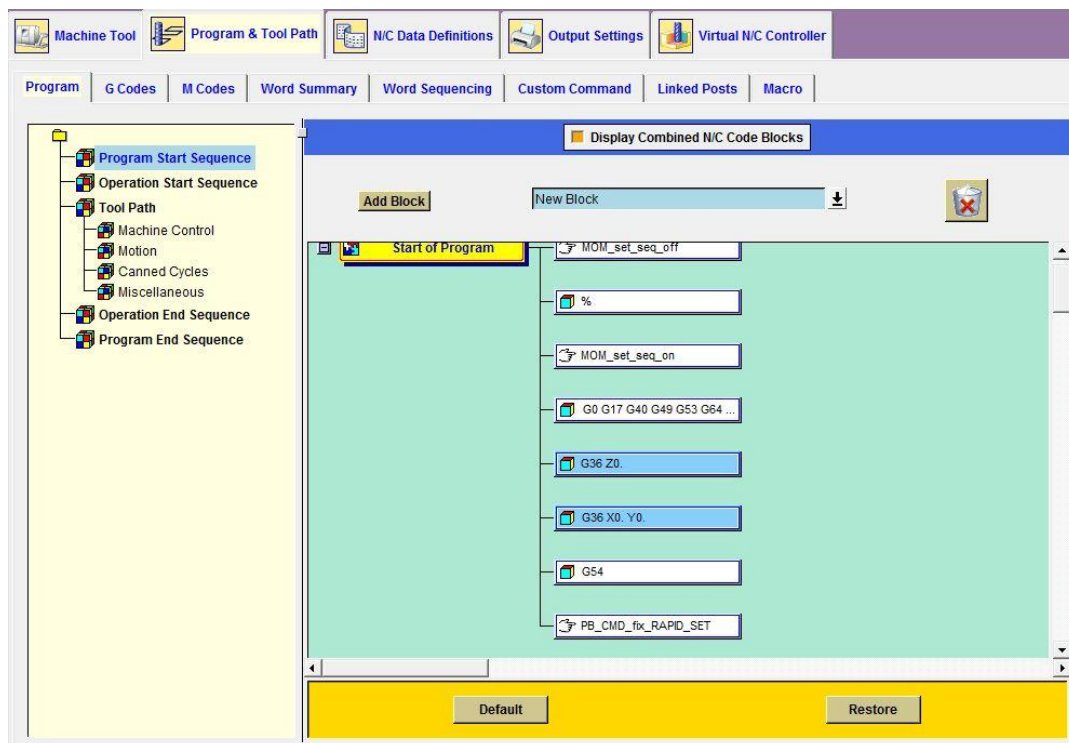


Рисунок 2.7 – Події на початку програми

Завдаються події на початку траєкторії (Operation Start Sequence), тобто події, що будуть відбуватися після початку виконання кожного переходу, наприклад, автоматична та ручна зміна інструменту, ввімкнення та вимкнення подачі охолодження, корекція та врізання.

Задаються події траєкторії інструменту (Tool Path). В цьому розділі прописуються команди для всіх подій, що будуть виводитися в КП, такі як керування верстатом, керування рухами робочих органів верстата та керування вбудованими циклами. Якщо потрібної команди немає в переліку стандартних, її можна створити самостійно, прописавши її як команду створену користувачем.

У розділі керування верстатом (Machine Control) задаються наступні дані:

- зміна інструменту (Tool Change) – M6;
- корекція на довжину інструмента (Length Compensation) – G43;
- корекція на діаметр інструменту (Radius Compensation) - G41;
- обертання шпинделя в обертах за хвилину (Spindle RPM) – S M3;
- вимкнення обертання шпинделя (Spindle Off) – M5;
- ввімкнення охолодження (Cooland On) – M7;
- вимкнення охолодження (Cooland Off) – M9;
- скасування корекції на радіус інструмента (Cutcom Off)– G40;
- пауза (Delay) - G4;
- зупинка перед підтвердженням (Opstop) – M1;
- зупинка (Stop) - M0;
- підготовчі функції (Prefun)– G;
- допоміжні функції (Auxfun) – M;
- попередній вибір інструменту (Tool Preselect) – T.

У розділі керування рухами робочих органів верстата (Motion) задається порядок виведення кадрів лінійного руху, руху по колу та швидкого переміщення. Приклад надається на рисунку 2.8.

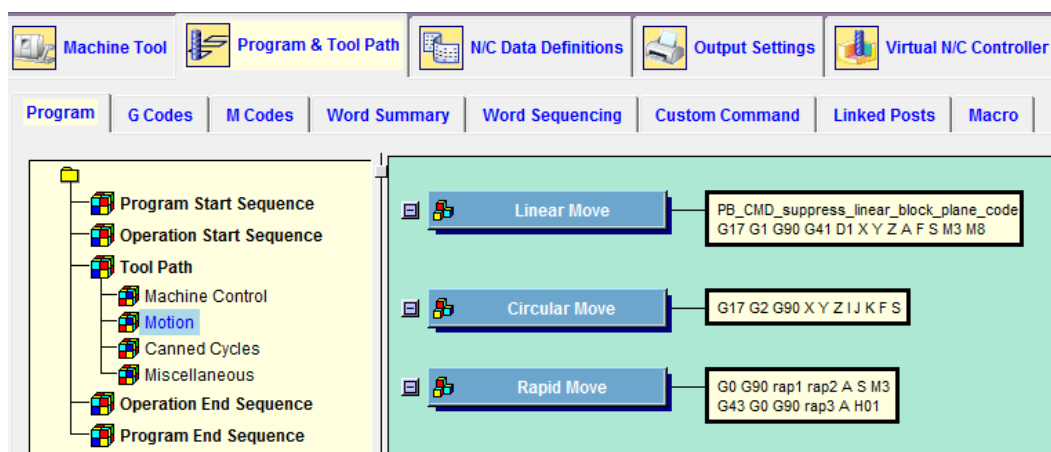


Рисунок 2.8 – Керування рухами робочих органів верстата

Події керування вбудованими циклами (Canned Cycles) для WL4M відрізняються від інших СЧПК. Їх завдання детально розглядається у наступному розділі.

Задаються події в кінці траєкторії (Operation End Sequence), тобто події, що будуть відбуватися в кінці кожного переходу. Даний розділ залишається без змін.

Задаються події в кінці програми (Program End Sequence). Програма повинна закінчуватися рядком M2 та рядком з символом %.

Результатом роботи модуля Post Builder є чотири файли постпроцесора:

.prui файл проекту Post Builder. Він не обов'язків для роботи постпроцесора, але без нього неможливо скористатися редактором постпроцесорів.

.tcl файл на мові програмування Tool Command Language (TCL) описує перетворення сгенерованих у САМ системі подій у блоки NC-коду прийнятого для заданої СЧПК.

.def файл містить інформацію про верстат, формати слів, адреси та NC блоки заданої СЧПК.

.cdl файл містить інформацію про нетипові події створені користувачем.

2.2 Висновки

Модуль Post Builder дозволяє в діалоговому режимі створювати та редагувати постпроцесори для будь-якої комбінації «верстат – стійка ЧПК». При створенні нового постпроцесора необхідно задати паспортні дані верстата, підготовчі та допоміжні функції та їх формат, визначити структуру кадру та порядок їх виведення у КП.

У даному розділі описано методику розробки постпроцесорів на прикладі створення постпроцесора для фрезерного верстата зі стійкою ЧПК WL4M.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПОСТІЙНИХ ЦИКЛІВ

3.1 Особливості завдання циклів у СЧПК WLM

Система WL4M дозволяє користувачам реалізовувати постійні цикли, що використовуються для свердлення, розточування, нарізання різьб мітчиком та інших видів обробки. Для реалізації постійних циклів (G81-G89) створюються підпрограми з алгоритмом їх відпрацювання. В основній програмі задаються лише значення підготовчої функції, що викликає певний цикл та числові значення змінних, що використовуються при його опрацюванні.

Постійний цикл – це макропрограма, закладена в систему ЧПК, що викликається як функція з передачею параметрів обробки [2]. Приклади таких мікропрограм для СЧПК WL4M надаються на рисунках 3.1-3.10.

Бажано програмувати завдання циклу в кадрі з командами переміщення, при цьому виклик циклу буде відбуватися після опрацювання всіх команд у кадрі. До скасування командою G80 цикл буде виконуватися у кожному кадрі, де задано переміщення. При поверненні до глобальної програми необхідно аби були відпрацьовані режими G0, G90.

Особливістю СЧПК WL4M є формат виводу циклів у КП. Для опису руху під час виконання циклів використовуються наступні змінні:

- #2 – положення точки початку робочого руху;
- #3 – положення точки дна отвору;
- #4 – тривалість паузи;
- #5 – крок свердлення.

```

%81
G0G90Z#2
G1G9Z#3
G0Z#2
M99
%
```

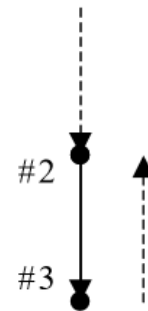


Рисунок 3.1 – G81- цикл свердження, цикл точкового розточування

```

%82
G0G90Z#2
G1G9Z#3
G4X#4
G0Z#2
M99
%
```

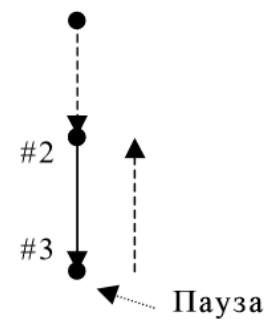


Рисунок 3.2 – G82 – цикл свердження, цикл зенкування

```

%83
G90 #10=#2 #11=#2
N01 IF(#11=(#11-#5)<=#3) #11=#3
G0Z#10
G1G9Z#11
G0Z#2
#10=(#11+1)
IF(#11>#3) N1
M99
%
```

Рисунок 3.3 – G83 – цикл глибокого свердження

```

%84
G0G90Z#2
G1G63Z#3
M4
Z#2
G0G64M3
M99
%
```



Рисунок 3.5 – G84 – цикл нарізання різьби мітчиком

```

%85
G0G90Z#2
G1G9Z#3
Z#2
G0
M99
%
```

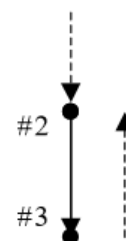


Рисунок 3.6 – G85 – цикл розточування

```

%86
G0G90Z#2
G1Z#3
M5
G0Z#2
M3
M99
%
```

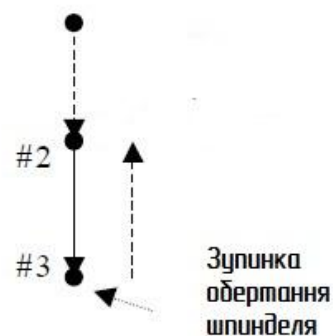


Рисунок 3.7 – G86 – цикл розточування з зупинкою шпинделя

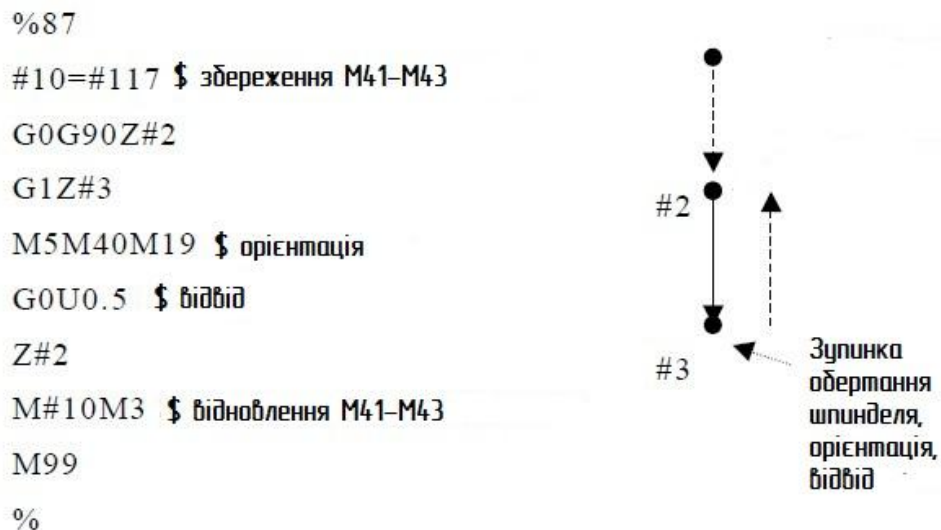


Рисунок 3.8 – G87 - Цикл розточування з орієнтацією та відводом

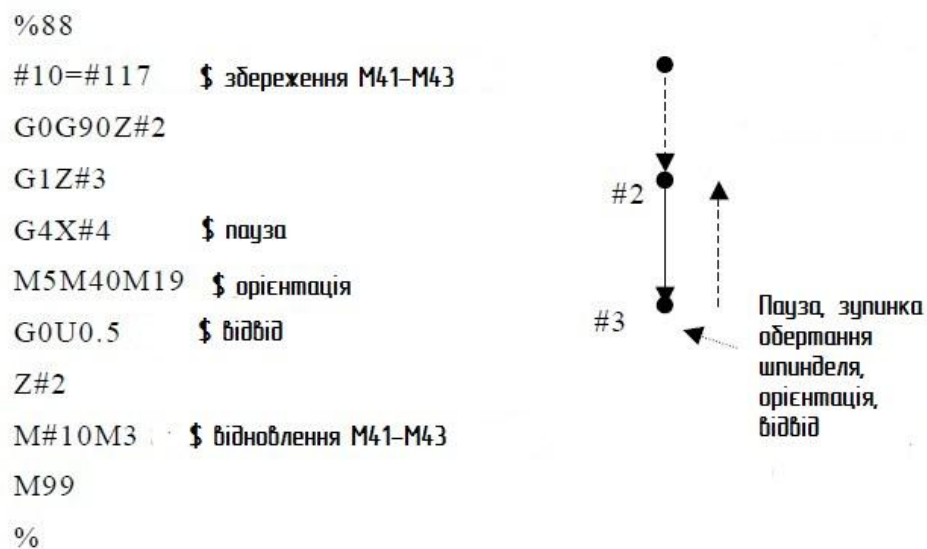


Рисунок 3.9 - G88 – цикл розточування з паузою, орієнтацією та відводом



Рисунок 3.10 – G89 – цикл розточування з паузою

3.2 Забезпечення реалізації постійних циклів за допомогою генератора постпроцесорів Post Builder

Головною складністю у розробці постпроцесора для СЧПК WL4M є програмування виведення у КП постійних циклів у форматі, що вимагає СЧПК. Модулем Post Builder не передбачено автоматичний вибір завдання циклів з використанням змінних, які використовуються СЧПК WL4M. Реалізувати виведення у КП циклів в потрібному вигляді можливо за допомогою додавання подій, що задаються користувачем. Ці події описуються за допомогою інтерпретованої мови програмування високого рівня Tcl і дозволяють описати будь-які специфічні функції СЧПК. Використання подій, що задаються користувачем дозволяє суттєво розширити можливості створюваного постпроцесора.

Для реалізації постійних циклів необхідно забезпечити вивід змінних параметрів циклів, що були зазначені вище. Для цього необхідно створити слова, що будуть означати ці змінні. Для цього необхідно перейти до вкладки NC Data Definition /Word/Create. Слово складається з адреси та значення. Наприклад, G01, де G – адреса, а 01 – значення. Параметри створених слів надаються в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри створених слів

Змінна	Назва	Адреса	Формат
Положення точки початку робочого руху	retract_plane	#2=	Coordinate
Положення точки дна отвору	final_depth	#3=	Coordinate
Тривалість паузи	cycle_dwell	#4=	Dwell_SECOND
Крок свердлення	cycle_step	#5=	Coordinate

Для всіх створених слів слід зазначити, що вони є модальними, тобто будуть відпрацьовуватися СЧПК поки їх не скасують. Приклад створення слів надається на рисунку 3.11.

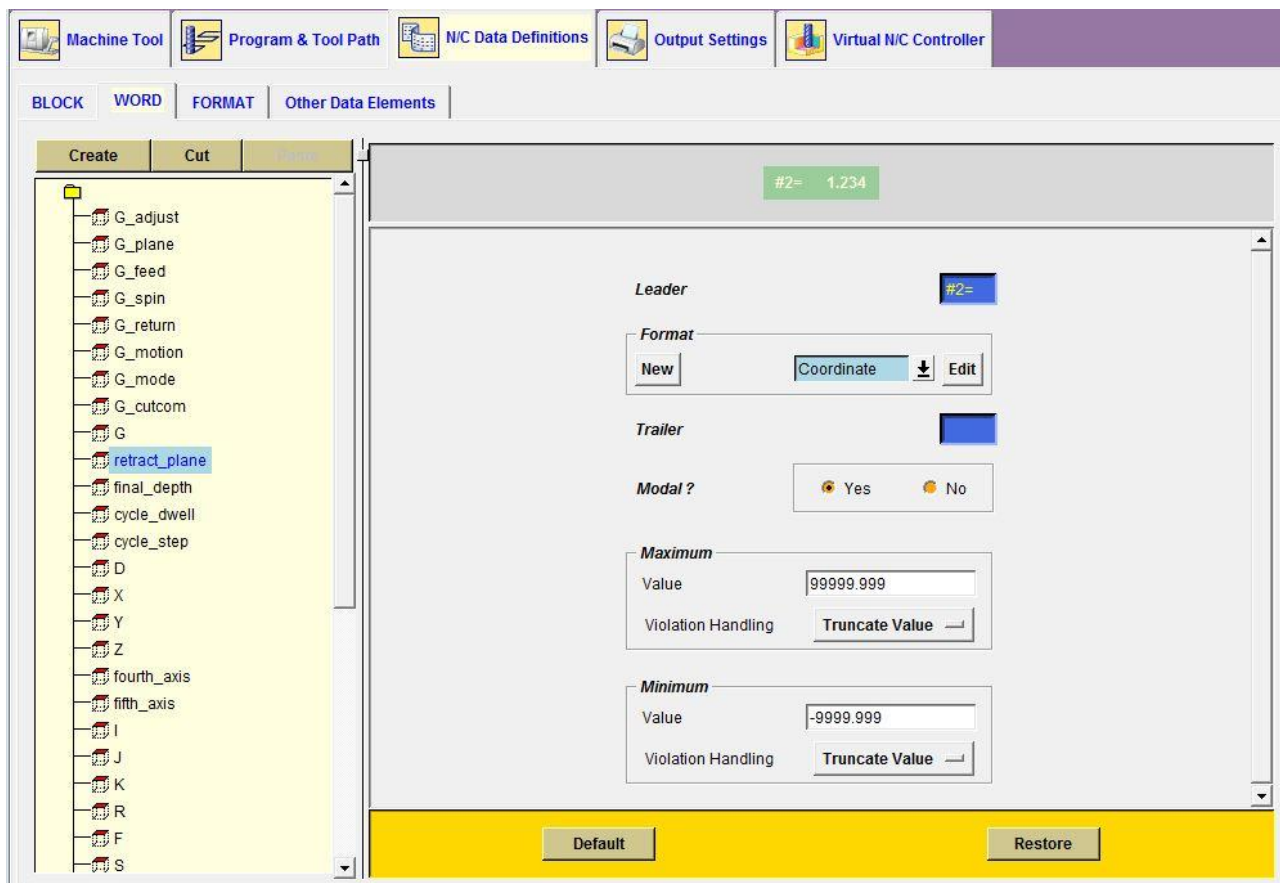


Рисунок 3.11 – Приклад створення нового слова

Далі необхідно активувати виведення створених слів у кадрах КП. Для цього необхідно перейти на вкладку Program & Tool Path/Word Sequencing та розташувати у послідовності, в якій вони будуть відображатися у кадрі. Також необхідно, щоб всі необхідні слова підсвічувалися червоним кольором. Це свідчить про те, що слова вивід слів активовано.

Наступним кроком буде перевірка відображення створених слів у файлі з розширенням .def, в якому міститься інформація про формати та адреси слів. Опис створених слів надається на рисунку 3.12.

```

ADDRESS retract_plane
{
    FORMAT      Coordinate
    FORCE        off
    MAX          99999.999 Truncate
    MIN          -9999.999 Truncate
    LEADER       "#2="
    ZERO_FORMAT Zero_real
}

ADDRESS final_depth
{
    FORMAT      Coordinate
    FORCE        off
    MAX          99999.999 Truncate
    MIN          -9999.999 Truncate
    LEADER       "#3="
    ZERO_FORMAT Zero_real
}

ADDRESS cycle_dwell
{
    FORMAT      Dwell_SECONDS
    FORCE        off
    MAX          99999.999 Truncate
    MIN          0.001 Truncate
    LEADER       "#4="
    ZERO_FORMAT Zero_real
}

ADDRESS cycle_step
{
    FORMAT      Coordinate
    FORCE        off
    MAX          99999.999 Truncate
    MIN          -99999.999 Truncate
    LEADER       "#5="
    ZERO_FORMAT Zero_real
}

```

Рисунок 3.12 – Опис створених слів у файлі .def

У файлі .def також знаходиться шаблон виводу циклів. Його необхідно змінити вручну за допомогою прописування необхідних подій на мої програмування TCL. Приклад шаблону виводу циклів без змін надається на рисунку 3.13.

```

BLOCK_TEMPLATE post_cycle_set
{
    G_plane[$mom_sys_cutcom_plane_code($mom_cutcom_plane)]\opt
    G_return[$mom_sys_cycle_ret_code($mom_cycle_retract_mode)]\opt
    G_motion[$mom_sys_cycle_reps_code]
    X[$mom_cycle_feed_to_pos(0)]
    Y[$mom_cycle_feed_to_pos(1)]
    Z[$mom_cycle_feed_to_pos(2)]
    F[$feed]
    R[$mom_cycle_rapid_to_pos($mom_cycle_spindle_axis)]
}

```

Рисунок 3.13 – Шаблон виводу циклів без змін

Необхідно, щоб шаблон виводу циклів містив наступні рядки [16]:

`$mom_sys_cutcom_plane_code($mom_cutcom_plane)` – інформація про робочу площину обробки;

`$mom_sys_cycle_reps_code` – значення підготовчої функції, що задає цикл;

`$mom_cycle_retract_to_pos($mom_cycle_spindle_axis)` – значення положення точки початку робочого руху;

`$mom_cycle_feed_to_pos($mom_cycle_spindle_axis)` – значення координати дна отвору;

`$feed` – значення подачі.

Приклад вигляду шаблону виведення циклів після змін надається на рисунку 3.14.

```

BLOCK_TEMPLATE post_cycle_set
{
    G_plane[$mom_sys_cutcom_plane_code($mom_cutcom_plane)]\opt
    G_motion[$mom_sys_cycle_reps_code]
    retract_plane[$mom_cycle_retract_to_pos($mom_cycle_spindle_axis)]
    final_depth[$mom_cycle_feed_to_pos($mom_cycle_spindle_axis)]
    F[$feed]
}

```

Рисунок 3.14 – Шаблон виведення циклів після змін

Далі необхідно перейти на вкладку Program & Tool Path/Program/Canned Cycles/Common Parameters та додати до події виведення циклів адреси X та Y як показано на рисунку 3.15.

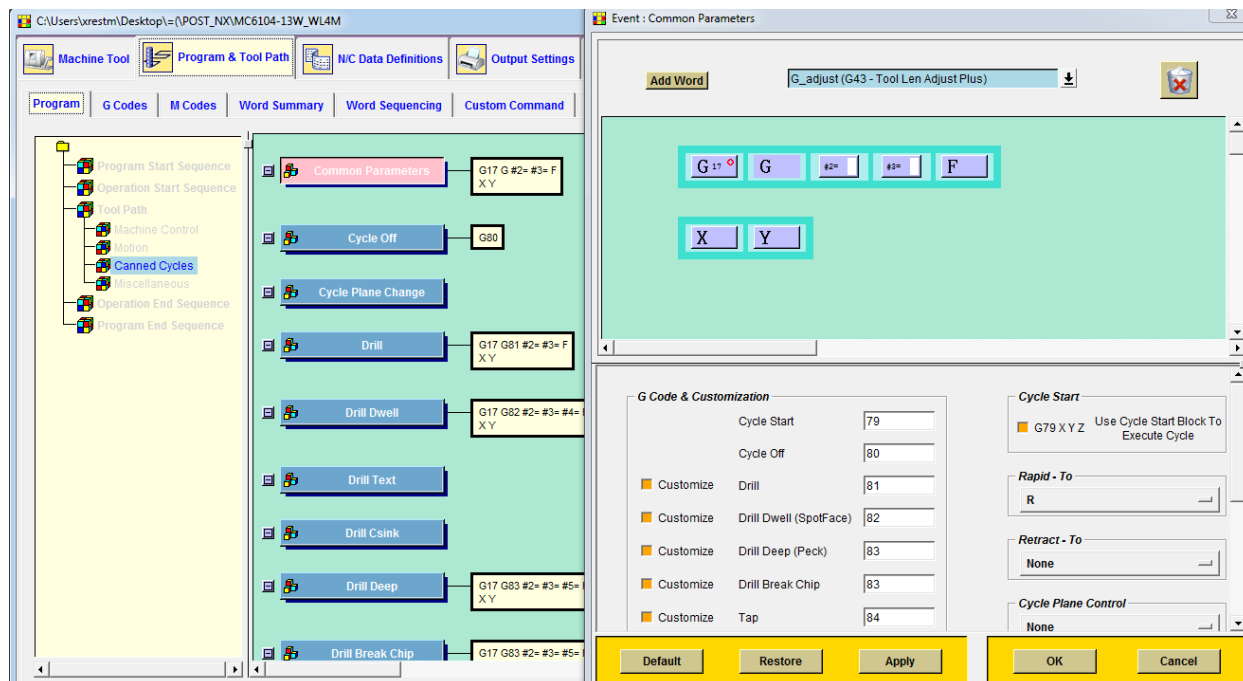


Рисунок 3.15 – Приклад додавання адрес X та Y до події виведення циклів.

3.3 Висновки

У різних СЧПК постійні цикли реалізуються по різному. Для СЧПК WL4M постійні цикли реалізуються за допомогою використання змінних, що означають початок робочого руху, дно отвору, тривалість паузи та крок свердлення. Забезпечити виведення у КП ці змінні та інші специфічні команди, що передбачені СЧПК можна за допомогою опису їх на мові програмування TCL. Таким чином можливо значно розширити можливості постпроцесора.

4 ПЕРЕВІРКА РОБОТИ СТВОРЕНОГО ПОСТПРОЦЕСОРА

4.1 Програмування обробки тестової деталі у середовищі Siemens NX

Вимоги до постпроцесора:

- КП після обробки постпроцесором повинна відповідати вимогам стійки ЧПК та верстата;
- кадри КП не повинні потребувати ручної корекції;
- реалізація всіх можливостей системи автоматизованого проектування, СЧПК та верстата;
- забезпечення безпечної роботи верстата.

Для перевірки роботи розробленого постпроцесора програмується обробка деталі «Блок» за допомогою системи автоматизованого проектування Siemens NX.

Першим кроком є побудова тривимірної твердотільної моделі майбутньої деталі згідно креслення за допомогою CAD-системи. Операційний ескіз виконання фрезерної операції надається на рисунку 4.1. Зображення побудованої моделі надається на рисунку 4.2.

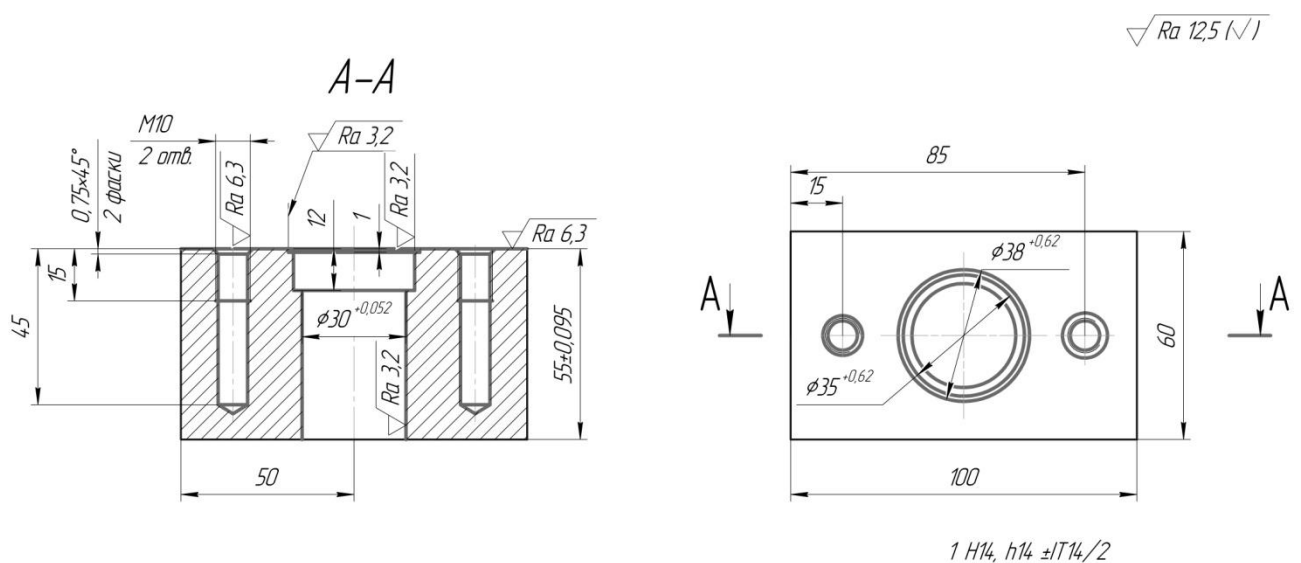


Рисунок 4.1 – Операційний ескіз виконання фрезерної операції

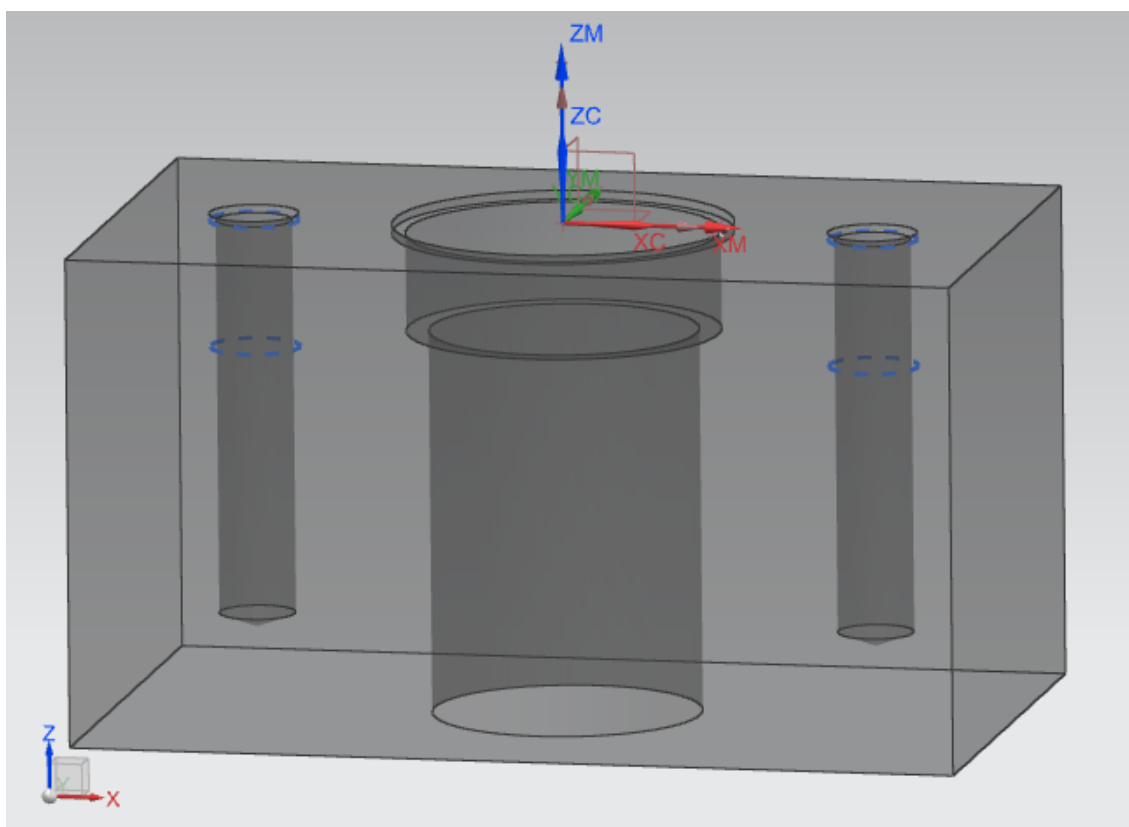


Рисунок 4.2 – Тривимірна модель деталі «Блок»

На основі створеної тривимірної моделі у САМ-системі програмується обробка деталі згідно операційного ескізу.

Для використання концепції майстер-моделі необхідно виконувати програмування обробки в окремому файлі, для того, аби внесені дані не впливали на вихідну модель деталі.

Обробка буде виконуватися за один установ, тому створюється одна система координат деталі. Для верстатів з ЧПК використовується права прямокутна система координат. Вісь Z повинна співпадати з віссю інструмента. Вісь X розміщується зліва направо відносно робочого місця оператора.

Для зручності нуль деталі розташовується на верхній поверхні деталі так, щоб усі переміщення по вісі X були позитивними, а координати центрів отворів по вісі Y дорівнювали нулю.

Нуль деталі – це точка на деталі, відносно якої задані її розміри та відносно якої відраховуються координати всіх останніх точок контуру [2].

Всі переміщення при обробці відбуваються відносно робочої системи координат, яка утворюється при встановленні деталі безпосередньо на верстат. Для цього нуль деталі у ручному режимі прив'язується до системи координат верстату. Початковою точкою робочої системи координат є нуль деталі, тому при програмування обробки у САМ-системі всі переміщення також будуть відбуватися відносно нуля деталі.

Для того, щоб в повній мірі використати можливості верста з ЧПК, слід застосовувати високопродуктивний ріжучий інструмент зі змінними багатограними пластинками, що дозволяє проводити обробку на високих швидкостях різання, зменшити витрати часу на падла наладку, отримувати оброблену поверхню більш високої якості та забезпечити гарний відвід і дроблення стружки [17].

Режими різання обираються з каталогів інструменту в залежності від матеріалу ріжучої частини та деталі. Частота обертання шпинделя, хвилинна подача, подача на зуб та машинний час розраховуються САМ-системою автоматично.

Для виконання фрезерування площини деталі у розмір $55 \pm 0,095$ задається операція фрезерування площини FLOOR_WALL. У якості стратегії обробки слід обирати найбільш економічну з точки зору машинного часу. В даному випадку обрано стратегію «Зигзаг». Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.3.

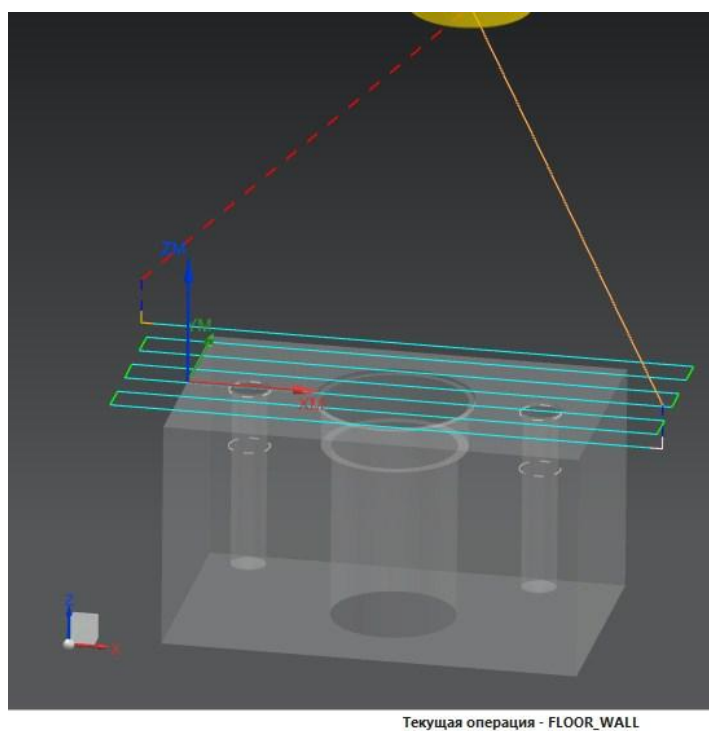
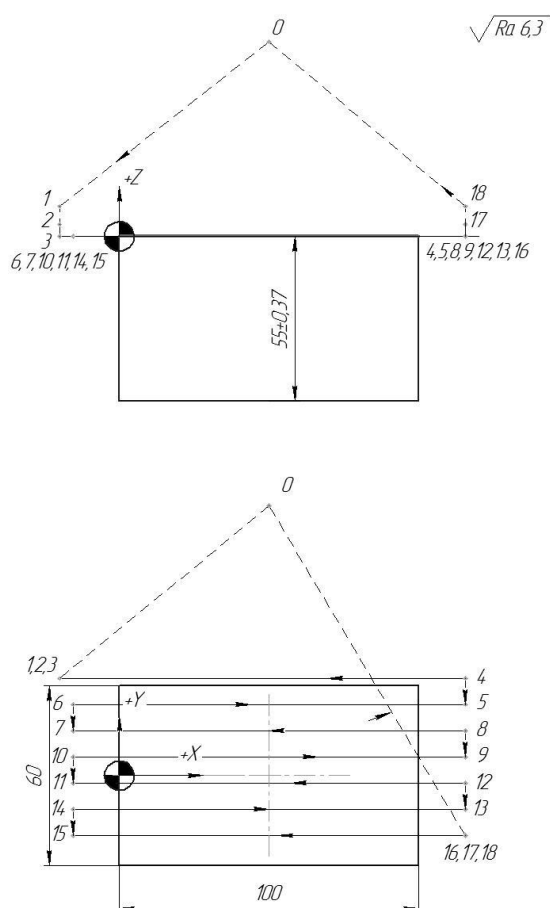


Рисунок 4.3 – Траєкторія переміщення інструменту при фрезеруванні площини

Для виконання різьбових отворів M10 спочатку свердляться два отвори під різьбу $\varnothing 8,5^{+0,09}$ глибиною 45мм. При свердленні глибоких отворів застосовується цикл глибокого свердлення G83 з виводом свердла для евакуації стружки. Крок виводу свердла задається постійний, максимальна глибина занурення свердла до виводу задається рівною діаметру. Система автоматично розраховує оптимальне значення кроку. В даному випадку крок становить 7,7578 мм. Для виконання даної операції обрано цільне твердосплавне спіральне свердло з кутом $2\varphi = 140^\circ$. У порівнянні зі свердлом зі швидкорізної сталі з кутом $2\varphi = 118^\circ$, таке свердло має меншу перемичку, що забезпечує кращу точність отвору. При роботі таким інструментом попереднє центрування отвору виконувати не потрібно [18]. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.4.

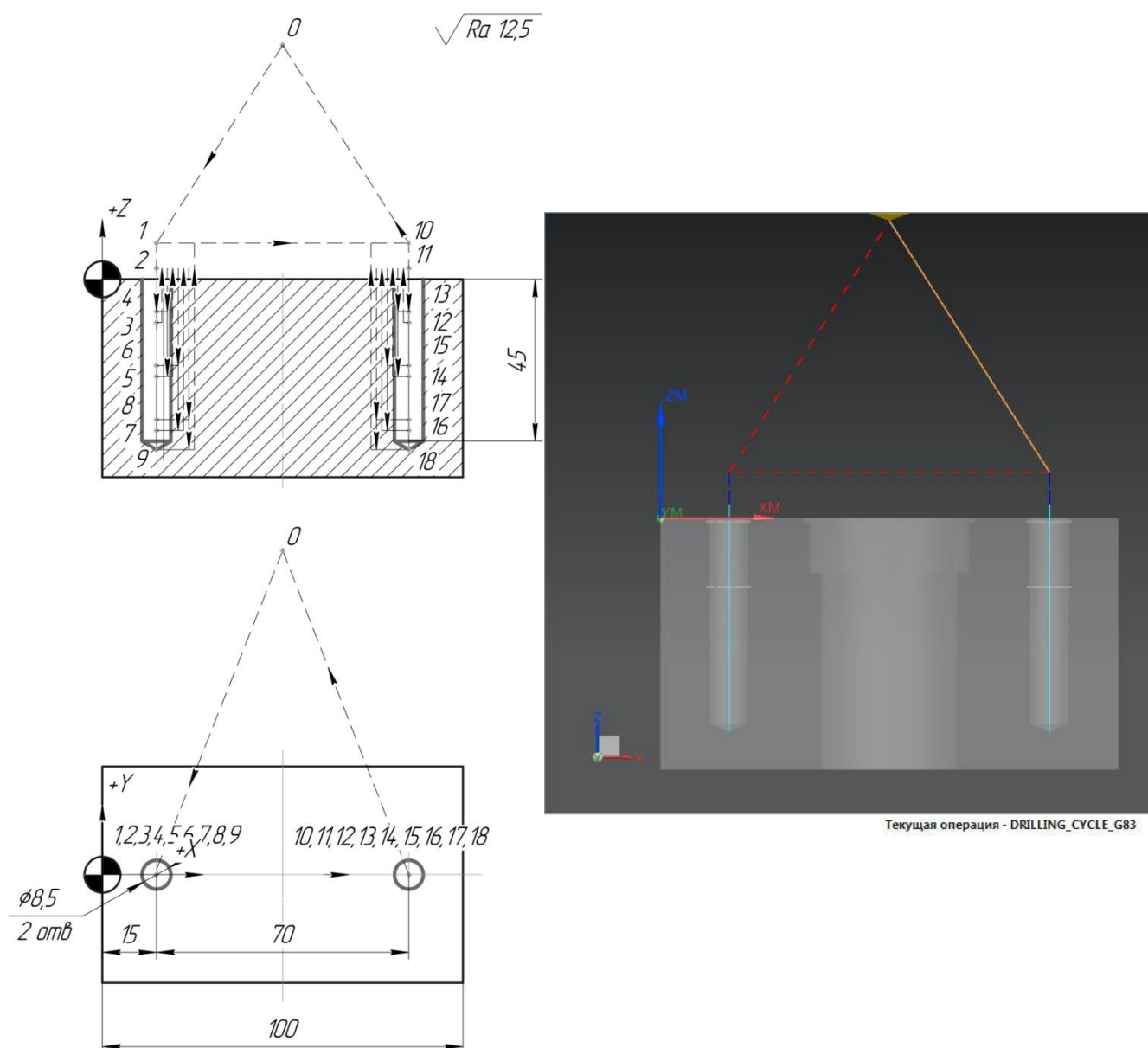


Рисунок 4.4 – Траєкторія переїзнення інструмента при глибокому свердленні (цикл G83)

Для зенкування різбових отворів використовується цикл зенкування G82. Так як при незначній довжині різання на кромці фаски можуть залишитися недорізи, необхідно забезпечити зупинку подачі у кінці робочого руху. Тривалість паузи повинна бути достатньою для забезпечення рівної поверхні після обробки, але не занадто довгою, щоб мінімізувати зношення ріжучого інструменту. Для цього у параметрах циклу задається тривалість паузи 2 оберти. СЧПК WL4M потребує задання тривалості паузи в секундах. При обробці постпроцесором тривалість паузи у секундах розраховується

Для нарізання різьби M10 на глибину 15мм мітчиком використовується цикл G84. Робоча подача дорівнює кроку різьби та розраховується САМ-системою автоматично після завдання параметрів інструменту. При досяганні кінцевої глибини різьби відбувається зміна напрямку обертання шпинделя на зворотне та інструмент виводиться на робочій подачі. Для нарізання різьби в глухому отворі слід використовувати мітчик з гвинтовими канавками, які забезпечують відведення стружки. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.6.

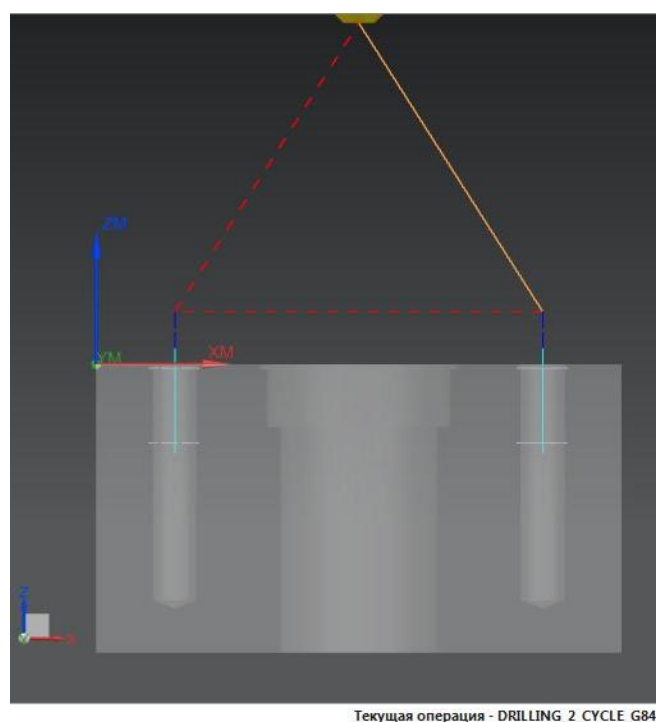
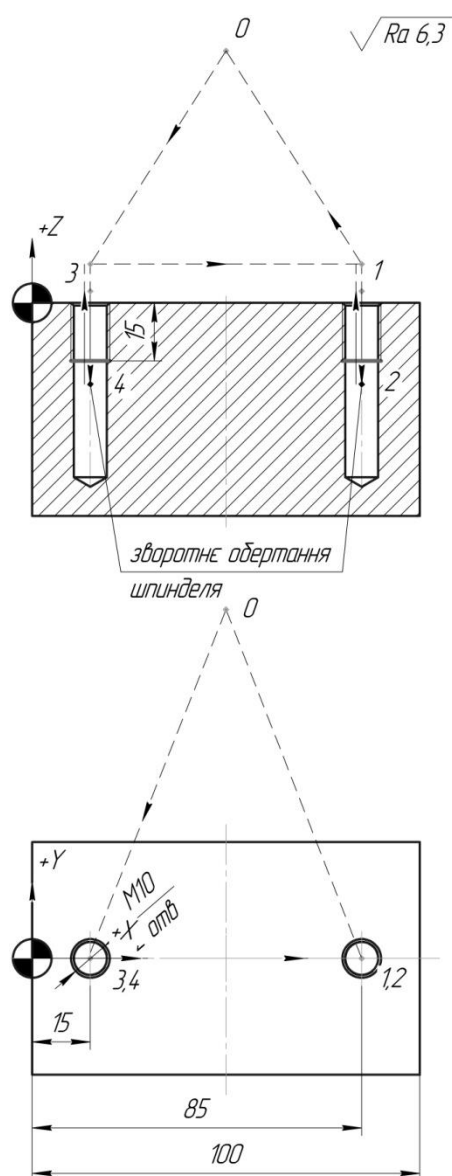


Рисунок 4.6 - Траєкторія переміщення інструменту при нарізанні різьби мітчиком (цикл G84)

Для свердлення наскрізного отвору $\phi 29^{+0,13}$ використовується цикл свердлення G81. Для виконання цього переходу обирається свердло з твердосплавними пластинками. При використанні такого інструменту попереднє центрування отвору не потребується. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.7.

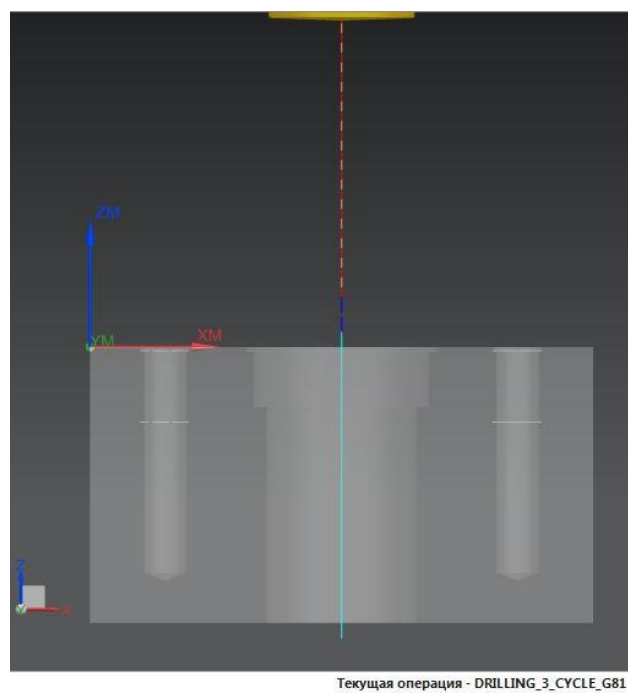
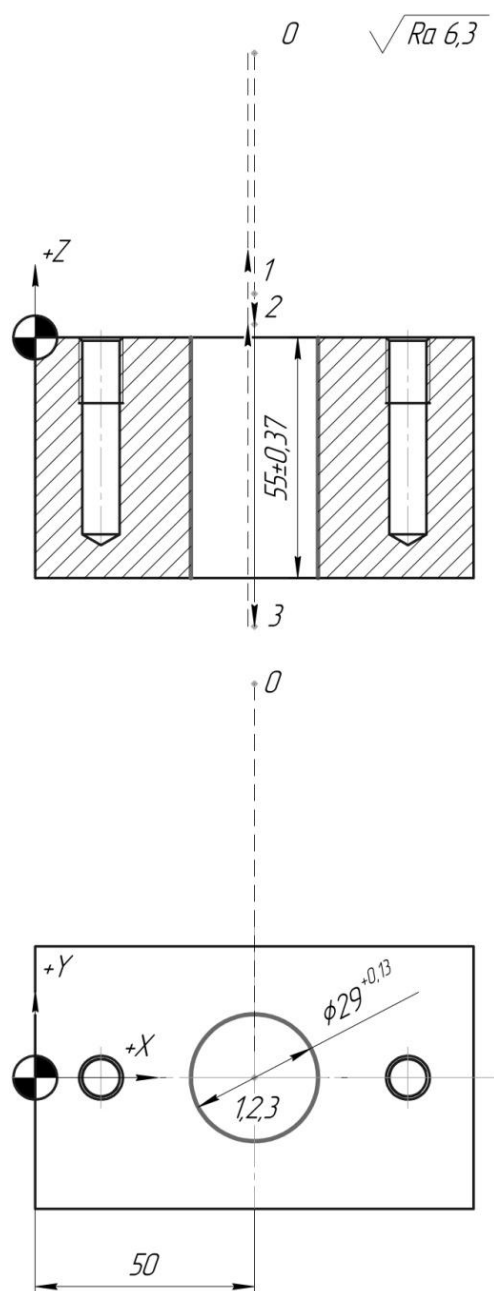


Рисунок 4.7 – Траєкторія переміщення інструменту при свердленні наскрізного отвору (цикл G81)

При розточуванні наскрізного отвору $\varnothing 30^{+0,052}$ використовується цикл G85. Розточування та вивід різця з отвору відбувається на робочій подачі. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.8.

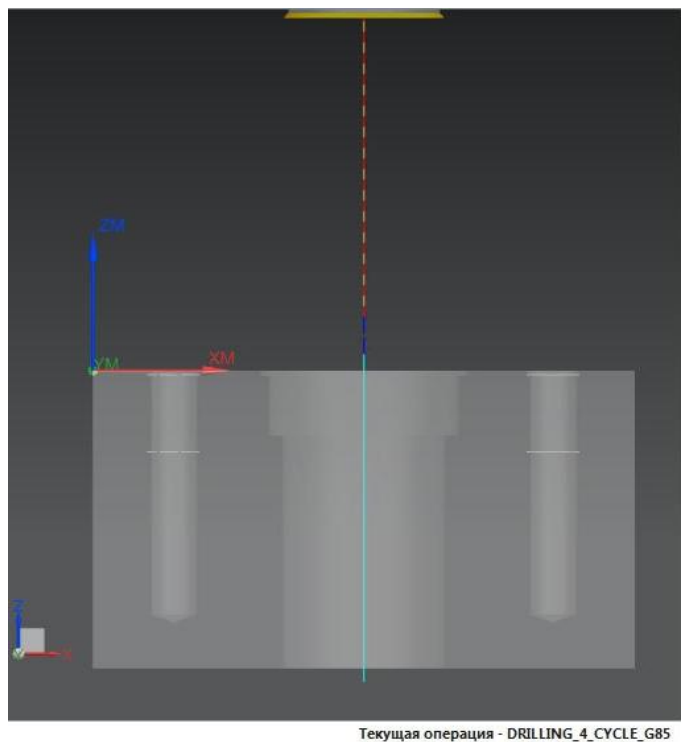
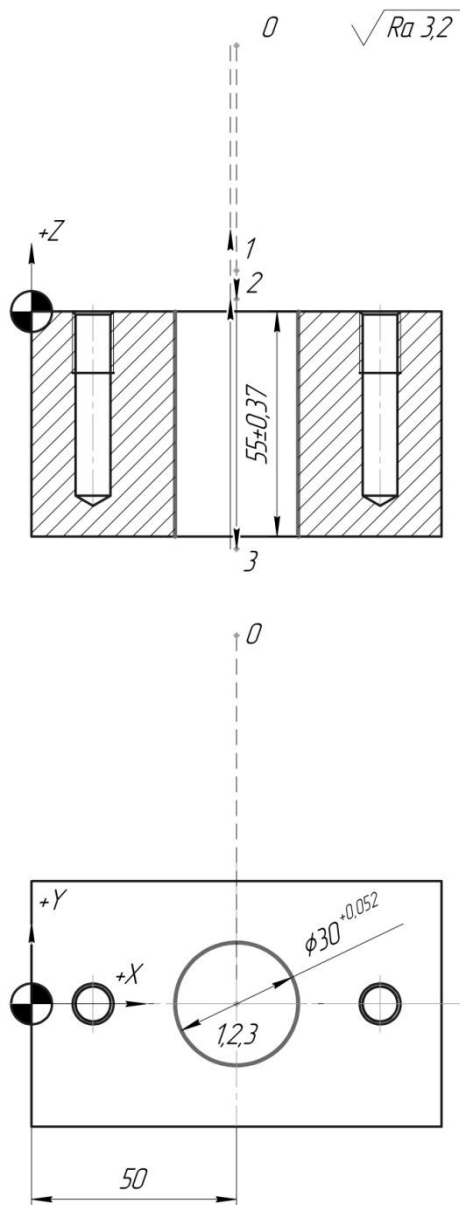


Рисунок 4.8 – Траєкторія переміщення інструменту при розточуванні наскрізного отвору (цикл G85)

Для розточування отвору $\varnothing 34^{+0,062}$ глибиною 12мм використовується цикл розточки з зупинкою шпинделя G86. При досяганні кінцевої глибини отвору відбувається зупинка обертання шпинделя та різець виводиться на

швидкому ходу. Такий спосіб дозволяє зекономити час обробки за рахунок швидкого виводу інструмента з отвору, але на обробленій поверхні може з'явитися слід від різця, тому його слід використовувати на чорнових операціях з послідуною обробкою. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.9.

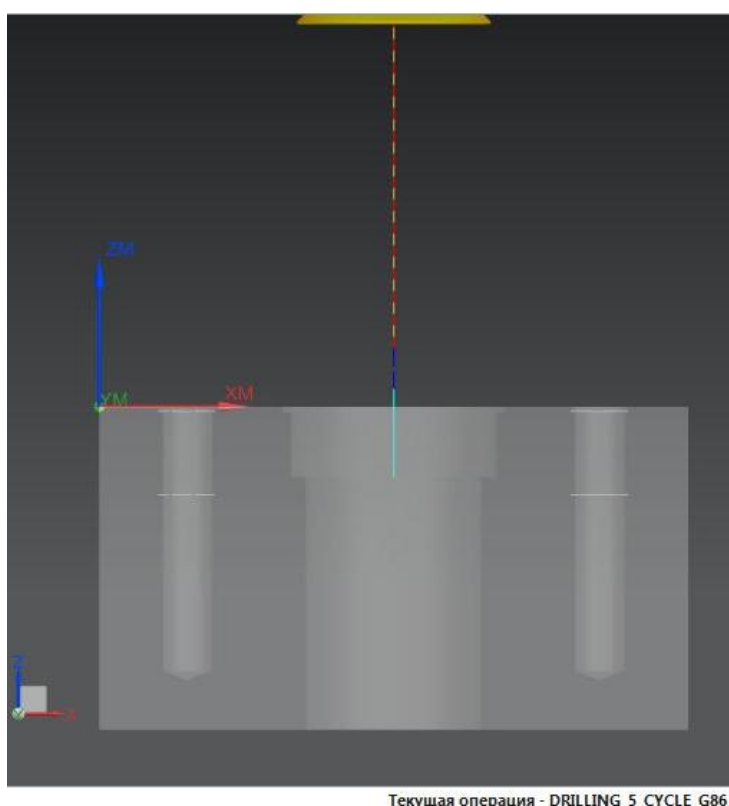
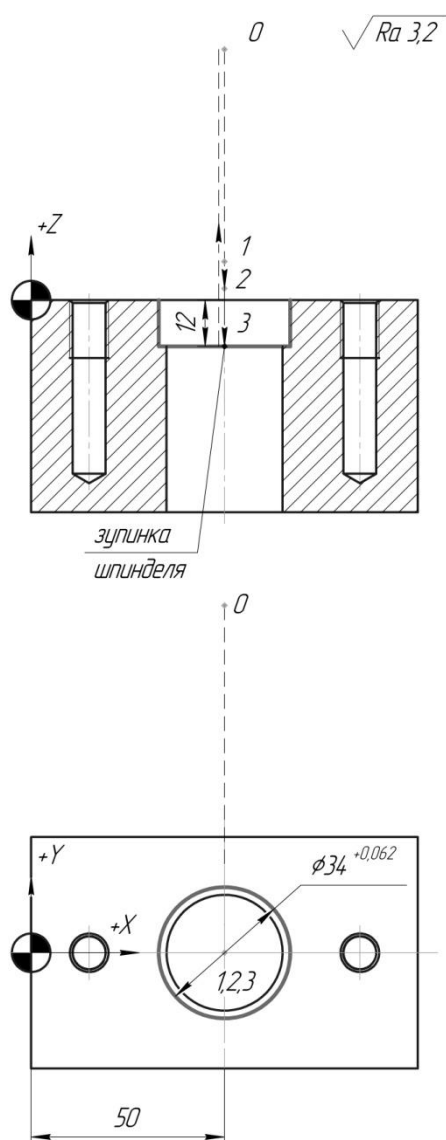


Рисунок 4.9 – Траєкторія переміщення інструменту при розточуванні з зупинкою шпинделя (цикл G86)

Для виконання отвору $\varnothing 35^{+0,025}$ глибиною 12мм використовується цикл розточування з орієнтацією та відводом G87. Після досягання кінцевої глибини обертання шпинделя зупиняється, різець відводиться від тіла деталі на 0,5 мм у

напрямку перпендикулярному вісі отвору та виводиться на швидкому ході. Такий метод дозволяє зменшити час обробки за рахунок відведення різця на швидкому ході, при цьому не пошкодити поверхню отвору. Тому його можна використовувати на чистових операціях. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.10.

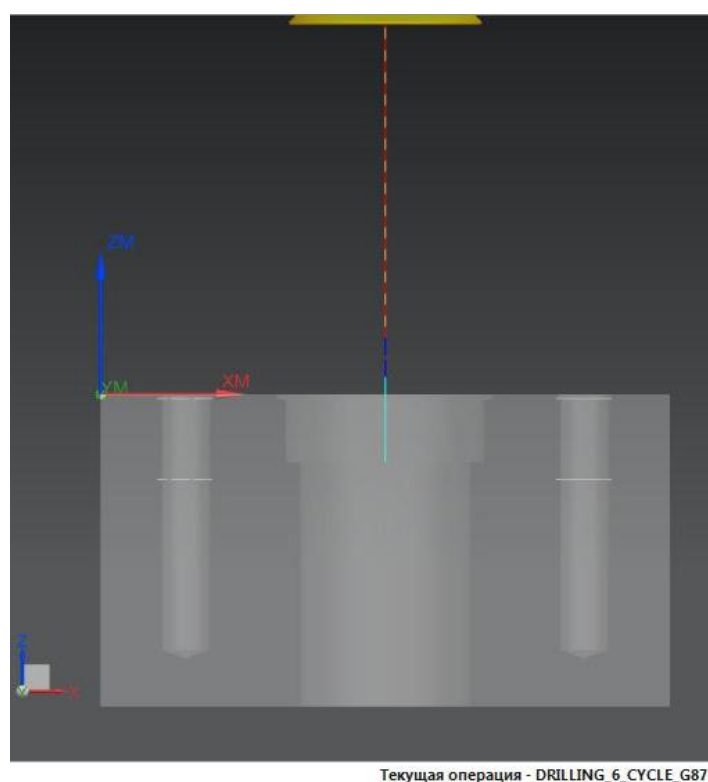
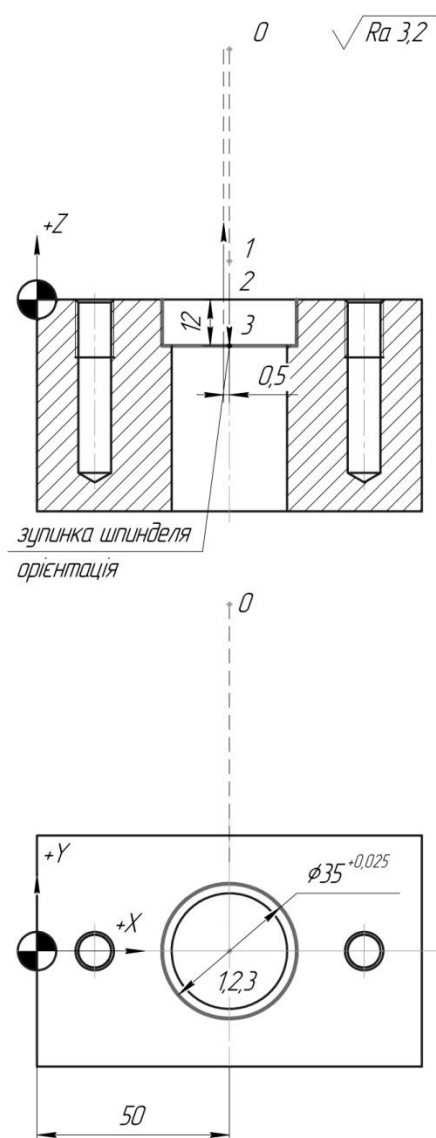


Рисунок 4.10 – Траєкторія переміщення інструменту при розточуванні з орієнтацією та відводом (цикл G87)

Для розточування виточки $\phi 37^{+0,062}$ глибиною 1 мм використовується цикл розточування з паузою G89. Так як і в випадку зенкування, при розточці виточки незначної глибини на обробленій поверхні можуть залишитися

необроблені ділянки. Для забезпечення рівної поверхні необхідно передбачити зупинку подачі при досяганні різцем кінцевої глибини. Тривалість паузи задається такою, щоб різець виконав 2 повних оберти. Значення тривалості паузи в секундах розраховується автоматично після постпроцесування і в даному випадку складає 0,057 сек. Траєкторія переміщення інструмента надається на рисунку 4.11.

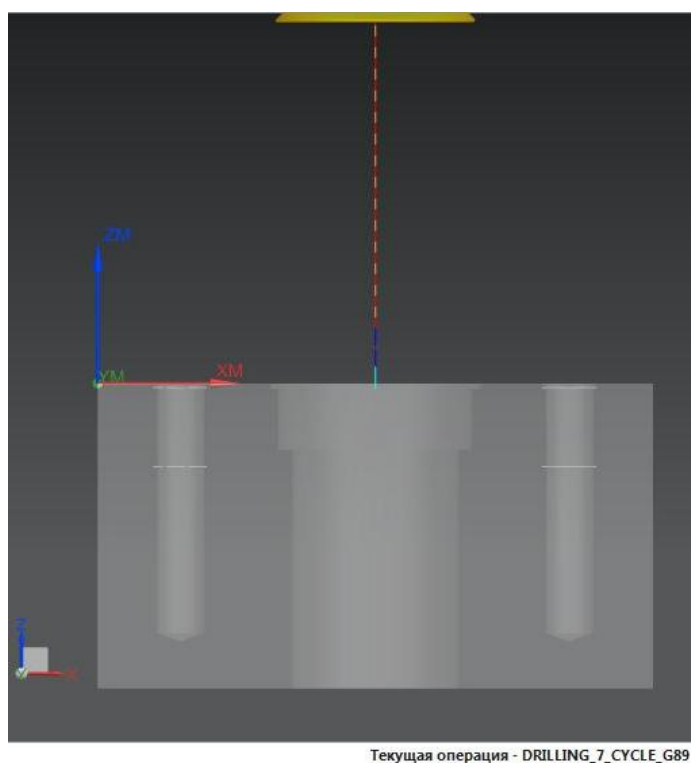
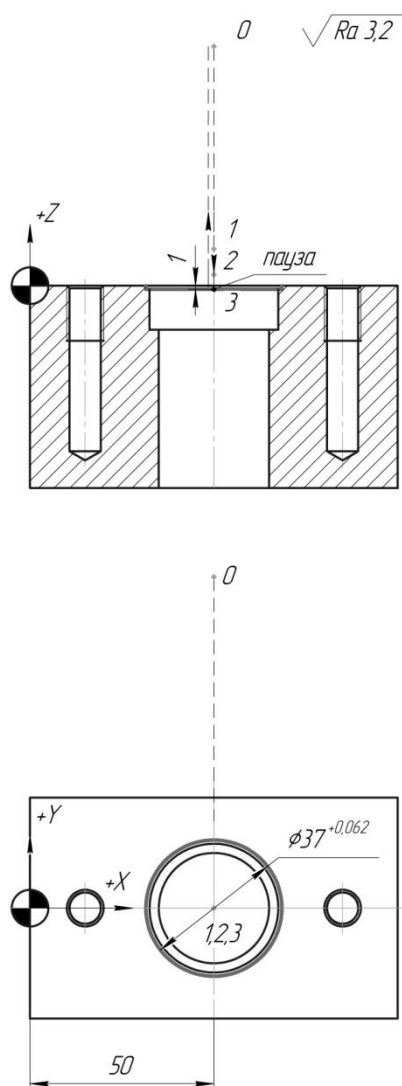


Рисунок 4.11 – Траєкторія переміщення інструмента при розточці з паузою (цикл G89)

Для чистового розточування виточки $\phi 38^{+0,025}$ використовується цикл розточки з паузою, орієнтацією та відводом. Після досягання кінцевої глибини подача зупиняється і різець здійснює задану кількість обортів, після чого

обертання шпинделя зупиняється, різець зміщується на відстань 0,5мм від тіла деталі в напрямку перпендикулярному вісі отвору. Різець виводиться на швидкому ході. Як вже було сказано, завдяки паузі виточка оброблюється повністю, відвід на швидкому ході дозволяє зменшити машинний час, а орієнтація з відводом - не пошкодити оброблену поверхню. Траєкторія переміщення інструменту надається на рисунку 4.12.

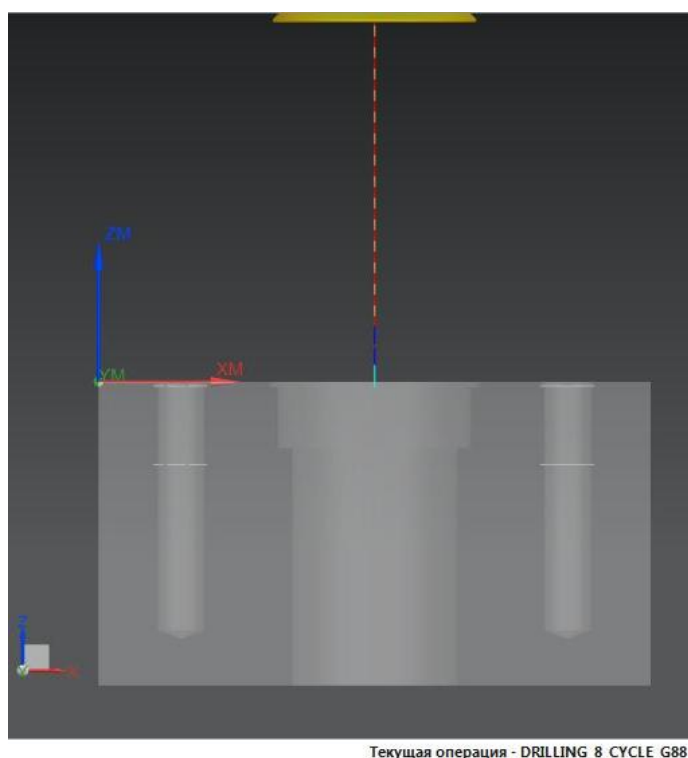
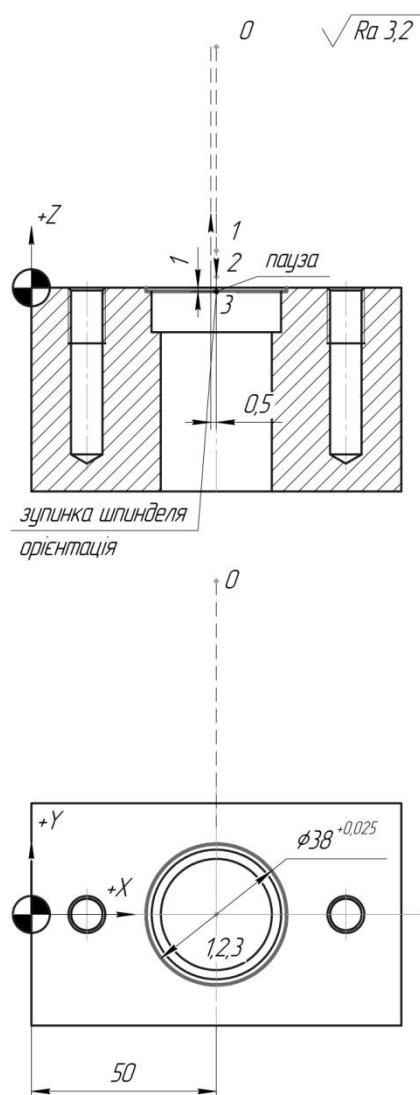


Рисунок 4.12 – Траєкторія переміщення інструмента при розточці з паузою, орієнтацією та відводом (цикл G88)

Після завершення завдання всіх параметрів для виконання операції та генерування траєкторій переміщення інструментів утворюється CL-файл, в

якому міститься інформація про обробку на мові АРТ. Приклад надається на рисунку 4.13.

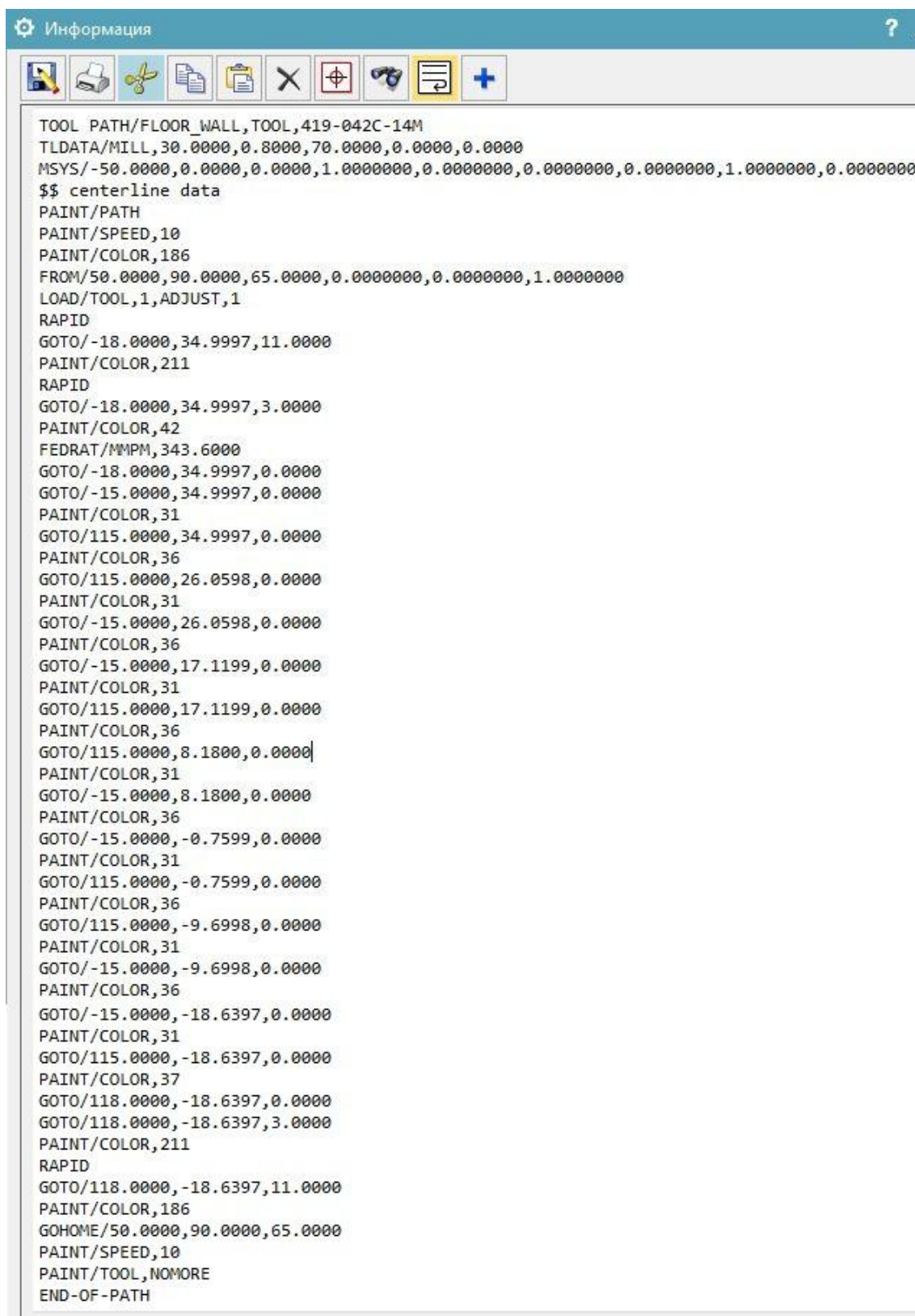


Рисунок 4.13 – CL-файл

Для отримання тексту КП у форматі, що вимагає СЧПК необхідно обробити CL-файл за допомогою постпроцесора. Приклад надається на рисунку 4.14. Для використання створеного постпроцесора необхідно натиснути «Поиск постпроцессора» та обрати файл з розширенням .ptp. Створена керуюча програма обробки деталі «Блок» надається у додатку Г.

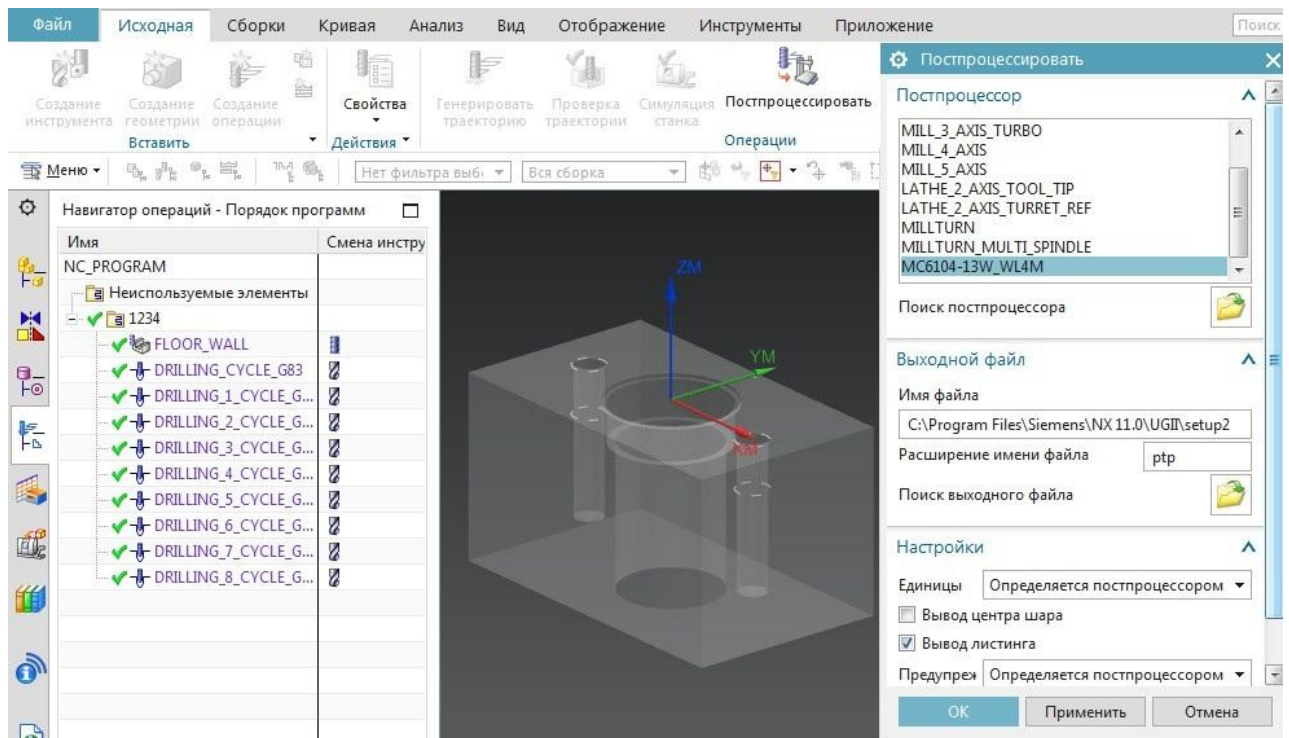


Рисунок 4.14 – Приклад постпроцесування

Для остаточної перевірки правильності роботи створеного постпроцесора необхідно перевірити отриману КП безпосередньо на стійці ЧПК. Результати такої перевірки на прикладі обробки деталі «Блок» надаються у додатку Д.

4.2 Висновки

Для перевірки правильності роботи створеного постпроцесора було обрано деталь, на якій можливо було б відпрацювати всі передбачені СЧПК постійні цикли. Для цього було створено трьохвимірну модель деталі за допомогою CAD-системи, задано параметри обробки у САМ-системі згідно операційного ескізу. CL-файл з описом траєкторії переміщення інструменту було опрацьовано постпроцесором, в результаті чого отримано текст керуючої програми. На її основі було проведено обробку деталі на верстаті зі стійкою ЧПК WL4M.

Створений постпроцесор забезпечує отримання КП, що не потребує корекції кадрів, відповідає вимогам СЧПК та забезпечує безпечну роботу верстата.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Дослідження, що виконується в магістерській роботі передбачає роботу за персональним комп'ютером з візуальним дисплейним терміналом у навчальній аудиторії кафедри технології машинобудування. Робота за персональним комп'ютером належить до робід з підвищеним розумовим навантаженням. При цьому на дослідника впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

фізичні:

- підвищена пульсація світлового потоку (при коефіцієнті пульсації більше 5%) при застосуванні світильників без розсіювачів та дзеркальних екранних сіток або віддзеркалювачів з високочастотних пускорегулювальних апаратів може призвести до втоми органів зору, зниження уваги, гальмування активності мозку, погіршення зору;
- недостатній рівень освітленості (допустимий рівень освітленості в зоні розміщення документів 300-500 лк) при недостатній кількості джерел штучного та природного освітлення може призвести до швидкої втоми, зниження працездатності, короткозорості;
- підвищений рівень шуму (більше 65дБА) через відсутність шумопоглинаючих засобів може призвести до головного болю, роздратованості, зниження пам'яті, підвищеної втомлюваності;
- підвищений рівень статичної електрики (більше 60 кВ/м) через порушення правил заземлення або знижений рівень вологості повітря (менше 40%) може призвести до ураження електричним зарядом, підвищення тиску то появи фобії знову отримати ураження;
- ураження електричним струмом внаслідок недотримання правил безпеки при роботі з електричними приладами, порушення ізоляції дротів,

несправності електричних приладів, порушення правил заземлення може призвести до опіків, втрати свідомості та смерті людини.

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони (оптимальна температура у робочому приміщенні в холодну пору року 21...24°C, в теплу пору року 23...25°C) внаслідок несправності або відсутності систем опалення та кондиціонування повітря можуть призвести до зниження працездатності, млявості, зниження імунітету, застуди, загострення хронічних хвороб;

- підвищена або знижена швидкість переміщення повітря (оптимальна швидкість переміщення повітря 0,1 м/с) при відсутності або несправності систем вентиляції може призвести до захворювань органів дихання;

психофізіологічні:

- напруження зору при порушенні режиму праці і відпочинку під час роботи за комп'ютером та недостатній освітленості робочої зони може призвести до головного болю, зорового дискомфорту та погіршення зору.

- напруження уваги при довготривалому зосередженому спостереженні з рухом зображення на екрані комп'ютера може призвести до втоми, роздратованості;

- навантаження на опорно-руховий апарат при порушенні ергономічних вимог організації робочого місця, перебуванні у нераціональній позі, нерухомості може призвести до порушення кровообігу, оніміння шиї, больових відчув вів у м'язах, запалення суглобів, сколіозу;

- інтелектуальне перевантаження при порушенні режиму праці і відпочинку може привести до втоми, підвищеної емоційності, порушення сну.

- нервово-емоційне перевантаження внаслідок порушення режиму праці та відпочинку, конфліктних ситуацій у колективі, великому рівні відповідальності та стресових ситуацій може призвести до головного болю, роздратованості, порушення сну, відчуття неспокою, депресивного стану.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

З метою попередження травматизму та безпечного виконання досліджень навчальній аудиторії перед початком досліджень студент повинен пройти вступний інструктаж з охорони праці. Запис про проведення інструктажу потрібно занести до Журналу реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці. До початку роботи безпосередньо на робочому місці проводиться первинний інструктаж відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 «Типові положення про порядок проведення навчання та перевірки знань з охорони праці»

Згідно до ДСанПін 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» розміщення приміщень обладнаних ПК з ВДТ не допускається поруч з приміщеннями категорій А і Б. Також не допускається розміщення в підвальних та цокольних приміщеннях.

Для попередження механічного травматизму поверхня підлоги повинна бути рівною, без вибоїн, неслизькою, зручною для прибирання та володіти антистатичними властивостями згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення».

Для попередження появи статичної електрики в приміщеннях обладнаних ПК з ВДТ рекомендується використовувати зволожувачі, що заправляються щоденно дистильованою або кип'яченою водою.

Для приміщення, де розташовані робочі місця повинен бути визначений клас зони згідно НАОП 40.1-1.01-97. Навчальна аудиторія з ПК з ВДТ відноситься до 2 класу зони.

При роботі необхідно дотримуватися правил безпеки при роботі з напругою до 1000В, так як первинні ланцюги живлення ПК з ВДТ та периферичних приладів знаходяться під високою напругою, небезпечною для

життя, тому повинні розміщуватися у закритих коробах, що унеможлиблюють дотик людей до них.

Для виключення можливості ураження електричним струмом, заземлені конструкції в приміщеннях де розташовані робочі місця (труби опалення, водогінні комунікації, кабельна каналізація з використанням труб) повинні бути надійно захищені щитками, сітками або екранами з діелектричних матеріалів. Лінія електромережі та живлення ПК з ВДТ, периферійних приладів ПК з ВДТ повинна бути виконана як окрема групова трьохпровідна мережа, шляхом прокладення фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Всі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та напруги, умовам довколишнього середовища, умовам прокладення провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам НПАОП 40.1-1.01-97.

Для виключення можливості ураження електричним струмом забороняється використовувати в якості контуру заземлення паропровідні, водопровідні, газові та інші труби, а також опалювальні радіатори. Величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом згідно до вимог «ПУЕ-2014».

В приміщенні, де одночасно експлуатуються та обслуговується більше п'яти ПК з ВДТ, в доступному місці встановлюється вимикач, котрий у разі виникнення аварійної ситуації, може повністю вимикати електричне живлення приміщення, окрім світла.

Для виключення можливості виникнення небезпечних ситуацій та ураження працівників при роботі на ПК з ВДТ електричним струмом заборонено:

- експлуатація ПК з ВДТ та периферійних пристроїв, у котрих з'єднувальні кабелі та проводи електроживлення мають пошкоджену ізоляцію;
- підключення ПК з ВДТ та периферійних пристроїв до звичайної двухпровідної електромережі з застосуванням саморобних подовжувачів і перехідних виделок, що не відповідають вимогам НПАОП 40.1-1.01-97;

- підключення ПК з ВДТ та периферійних пристроїв до пошкоджених розеток, розподільним пристроям та подовжувачам;
- підключення ПК з ВДТ та периферійних пристроїв до електромережі без захисного заземлення;
- розміщувати робочі місця поблизу силових електричних кабелів великої потужності та вводів трансформаторів, технологічного обладнання, що створюють перешкоди у роботі ПК з ВДТ та негативно впливають на здоров'я працівника;
- розміщення поблизу ПК з ВДТ рідин;
- знімати корпус з будь-якої частини ПК з ВДТ під час його роботи;
- очищувати будь-яку поверхню ПК з ВДТ у ввімкненому стані.

При появи навіть незначного запаху гару необхідно вимкнути живлення комп'ютера та звернутися до відповідального за обслуговування комп'ютерної техніки.

Поверхня робочого місця не захищена сторонніми предметами. Поверхня екрану монітора повинна бути абсолютно чистою.

Системний блок не слід розміщати в ніші столу, або в будь-якому іншому замкнутому просторі де порушена циркуляція повітря.

Для зменшення негативного впливу шкідливих чинників при роботі на ПК з ВДТ необхідно дотримуватись режиму роботи та відпочинку, а також робити вправи для очей кожні 20-30 хвилин роботи за комп'ютером.

Ергономічні характеристики моніторів повинні відповідати вимогам директиви ЕС90/270 ЕЕС:

- символи на екрані повинні бути чіткі і добре розрізнятися;
 - зображення позбавлене блимання;
 - яскравість та контрастність легко регулюватися;
 - екрани вільні від відблисків та відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

5.3 Вплив використання постпроцесора на небезпечні та шкідливі фактори

Отримати керуючу програму для обробки деталі на верстаті з числовим програмним керуванням можливо написавши програму вручну або за допомогою систем автоматизованого проектування. Однією з найпоширеніших у світі з таких систем є Siemens NX. При написанні керуючої програми вручну інженер технолог повинен на основі креслення деталі самостійно побудувати траєкторію переміщення ріжучого інструменту розрахувавши координати точок переміщення ріжучого інструменту, режими різання. Виконання цього завдання передбачає високий рівень концентрації уваги та ступінь відповідальності, адже помилка у керуючій програмі може призвести до поламки деталі, інструменту, верстата та до травмування працівників.

Програмування обробки на верстатах з числовим програмним керуванням за допомогою системи автоматизованого проектування Siemens NX дозволяє після постпроцесування отримати керуючу програму автоматично. Для цього створюється тривимірна модель готового виробу, задається матеріал деталі та характеристика ріжучого інструменту. На основі цих даних генерується траєкторія переміщення ріжучого інструменту. Опис сгенерованої траєкторії у вигляді тексту оброблюється постпроцесором, після чого отримується керуюча програма у форматі, що потребує конкретний верстат та система числового програмного керування. Запропонований метод має значні переваги порівняно з ручним програмуванням. Такий метод дозволяє полегшити роботу технолога та мінімізувати деякі психофізіологічні небезпечні виробничі фактори.

При програмуванні обробки в системі Siemens NX технолог працює з інтерактивним тривимірним зображенням моделі майбутнього виробу, тоді як при ручному програмуванні використовується двомірне зображення на кресленні. Інтерактивне тривимірне зображення сприймається людиною значно

легше за двомірне. Таким чином знижується складність сприйняття інформації та знижується інтелектуальне навантаження на працівника.

Також даний метод дозволяє значно скоротити час програмування обробки порівняно з ручним, особливо при роботі з деталями складної геометричної форми. За рахунок зниження витраченого на виконання завдання часу знижується інтелектуальне навантаження.

Інтелектуальні перевантаження можуть спричиняти втому, головний біль, розлади сну, роздратованість, нервовість, втрату концентрації.

В результаті постпроцесування керуюча програма отримується автоматично, що звільняє технолога від необхідності набирати її вручну за допомогою клавіатури. Керуючі програми обробки деталей складної геометричної форми можуть складатися з великої кількості символів (обмеження системи числового програмного керування WL4M 5242800 символів). Тож отримання керуючих програм за допомогою програмування обробки у системі Siemens NX з послідуочим постпроцесуванням дозволяє знизити монотонність праці технолога. Монотонність праці може призвести о гальмування реакцій не тільки під час праці але і після неї та швидкій втомі.

При автоматичному отриманні тексту керуючої програми виключається вірогідність скоєння помилок при наборі символів. За рахунок цього знижується емоційне навантаження через можливість допустити помилку.

В системі Siemens NX є можливість перевірити сгенеровану траєкторію переміщення ріжучого інструменту шляхом моделювання його руху відносно заготовки та перевірити керуючу програму після постпроцесування за допомогою верифікації, тобто моделювання руху робочих органів верстата відносно заготовки. Перевірка здійснюється на комп'ютері до передачі керуючої програми на верстат. Таким чином можна знизити значимість помилки, тим самим знизити емоційне навантаження.

Емоційні навантаження можуть призвести до втоми, роздратованості, захворювань невротичного характеру та нервових зривів.

5.4 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно Гігієнічних нормативів ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 умови праці під час виконання дослідницької роботи, що передбачає роботу за персональним комп'ютером з візуальним дисплейним терміналом належать до шкідливих 2 ступеня. Це означає, що рівні шкідливих факторів викликають стійкі функціональні зміни, які призводять, у більшості випадків, до збільшення виробничої захворюваності (з тимчасовою втратою працездатності), прояви початкових ознак чи професійних захворювань. Термін появи цих ознак 15 років і більше.

Для забезпечення оптимальних санітарно-гігієнічних умов для навчальної аудиторії обладнаної ПК з ВТД розробляються заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни згідно Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за №472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я з екранними пристроями».

Оптимальні мікрокліматичні умови для категорії робіт – 1а згідно до вимог ДСН 3.3.6-042.99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» (відносна вологість повітря 60...40%, швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с, у холодний період року температура повітря 22...24 °С, у теплий період – 23...25 °С) забезпечуються за допомогою встановлення у приміщенні засобів опалення, кондиціонування та приточно-витяжної вентиляції згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Освітленість робочої зони забезпечується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне та штучне освітлення». Нормативне значення освітленості 300 лк. Освітленість поверхні столу в зоні розміщення документів повинна бути 300-500 лк. У навчальній аудиторії оптимальна освітленість забезпечується природнім та штучним

освітленням. Штучне освітлення повинно бути комбінованим, тобто загальне поєднується з місцевим). В якості джерел штучного освітлення рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи білого спектрального складу. Місцеве освітлення не повинно створювати відблиски на поверхні екрану та збільшувати освітленість екрану більше 300 лк. Коефіцієнт пульсації не має перевищувати 5%. Для цього рекомендується використовувати світильники з розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачі з високочастотними пускорегулювальними апаратами.

Рівень шуму в робочій зоні визначається за вимогами ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Для навчальних аудиторій допустимий рівень шуму становить 65 дБА. Для забезпечення нормованого рівня шуму у виробничих приміщеннях і на робочих місцях повинні використовуватися шумопоглинаючі засоби, вибір котрих обумовлюється спеціальними інженерно-акустичними розрахунками та вимогами пожежної безпеки. в якості шумопоглинаючих засобів можуть використовуватися негорючі або важкогорючі перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот 31,5-8000Гц або інші матеріали аналогічного призначення, дозволені для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного та пожежного нагляду.

Вимоги до обладнання і організації робочих місць користувачів ПК з ВТД визначається згідно ДСанПін 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Площа приміщення, що виділяється для одного робочого місця, на котрому розміщено ПЕОМ, повинна становити не менше 6м², а об'єм – не менше 20м³. У виключних випадках допускається мінімальна площа на одне робоче місце - 5м². Робочі місця повинні розташовуватися на відстані не менше 1м від вікон та стін зі світовими отворами. Відстань між боковими поверхнями моніторів повинно бути не менше 1,2м. Відстань між тильною стороною одного

монітора та екраном іншого повинна бути не менше 2м. Прохід між робочими місцями повинен бути не менше 1м. Відносно світлових отворів і вікон робочі місця повинні розташовуватися так, щоб природне світло падало переважно з лівої сторони монітора. Стіни приміщень рекомендується фарбувати у блідо-блакитний колір, стелю – в білий, ці кольори сприятливо впливають на зір людини, забезпечують гарну психологічну обстановку при роботі з ПК з ВДТ. Вікна повинні мати штори або регульовані жалюзі.

Стопи ніг повинні розміщуватися на підлозі або підставці для ніг, стегна у горизонтальній площині, передпліччя – вертикально, лікті – під кутом 70-90° до вертикальної площини, зап'ястя – зігнуті під кутом не більше 20° відносно вертикальної площини. Висота робочої поверхні столу повинна бути в межах 680-800мм, а ширина достатня для забезпечення можливості виконання операцій у зоні досяжності моторного поля.

Рекомендовані розміри столу: висота – 725мм, ширина – 600-1400мм, глибина – 800-1000мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600мм, шириною не менше 500мм, глибиною на рівні колін не менше 450мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650мм.

Розташування екрана монітора повинно забезпечувати зручність зорового спостереження в вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника. Екран монітора або сам монітор повинен мати можливість обертання навколо горизонтальної і вертикальної осі.

Вимоги до режиму праці та відпочинку при роботі на ПК з ВДТ визначаються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». Для забезпечення від інтенсивності праці установлюються 3 категорії важкості та напруженості праці на ПК з ВДТ. Для забезпечення оптимальної працездатності та збереження здоров'я працівників на протязі робочої зміни повинні установлюватися регламентовані перерви. Тривалість регламентованих перерв на протязі робочої зміни встановлюється в

залежності від її інтенсивності, тривалості, виду та категорії трудової діяльності та надається в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Тривалість перерв при роботі на ПК з ВДТ

Категорія роботи на ПК з ВДТ	Рівень навантаження за робочу зміну			Сумарний час перерв, хв.	
	Кількість зчитаних знаків	Кількість введених знаків	Тривалість роботи, год	При 8 годинній зміні	При 12 годинній зміні
I	До 20 тис.	До 15 тис.	До 2	30	70
II	До 40 тис.	До 30 тис.	До 4	50	90
III	До 60 тис.	До 40 тис.	До 6	70	120

Періодичність регламентованих перерв при роботі на ПЕОМ рекомендується встановлювати:

- для I категорії робіт – через 2 години від початку робочої зміни і через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;
- для II категорії робіт – через 2 години від початку робочої зміни і через 1,5-2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через кожну годину роботи;
- для III категорії робіт - через 1,5-2 години від початку робочої зміни і через 1,5-2 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи.

Тривалість безперервної роботи на ПЕОМ без регламентованої перерви не повинна перевищувати двох годин.

5.5 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки при роботі у навчальній аудиторії, обладнаній ПК з ВДТ розробляється згідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

У навчальній аудиторії обладнаній ПК з ВДТ можлива пожежа класу А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000В) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)».

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» навчальна аудиторія обладнана ПК з ВДТ має II ступінь вогнестійкості та належить до категорії Д з пожежної небезпеки (простір у приміщенні, в якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали. Таке приміщення повинно бути обладнане засобами пожежогасіння вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-3, ОУ-5, ОУ-8, ВВК-2 або аналогічні, з розрахунку 1 шт. на 40-50м² площі згідно ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» та системою пожежної та охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика згідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» у разі виникнення пожежі в навчальній аудиторії обладнаній ПК з ВДТ повинні бути передбачені два виходи по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно з виходом на протипожежні сходи, а з іншого – вхідні двері. Двері повинні відчинятися назовні. Згідно до СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

5.6 Основні норми поводження і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин

Хімічно небезпечним об'єктом (ХНО) вважається об'єкт господарювання, при аваріях і руйнуваннях якого можуть відбуватися масові ураження людей, тварин і рослин сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР).

До ХНО відносяться:

- підприємства хімічної галузі промисловості, які виробляють чи використовують СДОР;
- підприємства по переробці нафтопродуктів;
- підприємства інших галузей промисловості, які використовують СДОР;
- підприємства, які мають на озброєнні холодильники, водонапірні станції, очисні споруди, що використовують хлор і аміак;
- залізничні станції і порти, до концентрується продукція хімічних виробництв, термінали і склади на кінцевих пунктах переміщення СДОР;
- транспортні засоби, контейнери і наливні потяги, автоцистерни, річкові і морські танкери, які перевозять хімічно небезпечні продукти;
- склади і бази, на яких зберігаються запаси речовин для дезінфекції, дератизації сховищ зерна і продуктів його переробки.

За вражаючою дією на організм людей та тварин СДОР поділяють на такі групи:

- речовини з переважно задушливою дією (хлор, хлорпикрин, фосген, дифосген, трифосген та ін.);
- речовини переважно загально отруйної дії (етиленхлоргідрин, динітрофенол, ціаністий водень та ін.);
- речовини задушливої та загально отруйної дії (акрилонітрил, сірководень, аміак, фтористий водень та ін.);

- нейротропні отрути (сірковуглець, тетраетил свинець, метилбромід, гідразін та ін.);
- речовини задушливої і нейротропної дії (аміак, гептил, гідрози та ін.) ;
- метаболічні отрути (бромистий метил, етиленоксид та ін.).

Ураження людей і тварин відбувається внаслідок вдихання зараженого повітря, контакту із зараженими поверхнями, через шлунково-кишковий тракт внаслідок вживання заражених продуктів харчування та води, через шкірні покриви, слизові оболонки і поверхні ран. В результаті шкідливої дії СДОР на організм, крім безпосередніх уражень, можуть спостерігатися і віддалені генетичні наслідки.

Норми поведінки та дії населення при аваріях з викидом СДОР залежать від виду викиду, концентрації цих речовин у навколишньому середовищі, метеорологічних умов.

При виникненні аварії на хімічно-небезпечних об'єктах населення повідомляється за допомогою сирен. Почувши сигнал «Увага всім» необхідно ввімкнути радіо або телевізор і прослухати інформацію про аварію та про подальші дії. При евакуації транспортом необхідно точно запам'ятати час та місце посадки.

При повідомленні про аварію з викидом СДОР населенню в зоні ураження необхідно надіти засоби захисту органів дихання та найпростіші засоби захисту шкіри (плащі або накидки), закрити вікна, вимкнути побутові прилади та газ, при необхідності теплий одяг і продукти харчування, попередити сусідів та вийти з житлового масиву у вказаному напрямку або в бік перпендикулярний напрямку вітру на відстань не менше 1,5 км від місця проживання. Необхідно постійно слідкувати за напрямком вітру щоб не опинитися у зоні дії СДОР, що знаходяться у повітрі. У випадку відсутності протигазу для захисту органів дихання від ураження можна використовувати ватно-марлеві пов'язки або чисту тканину змочену водою. При неможливості

покинути зону зараження, необхідно сховатися в приміщенні і загерметизувати його.

Під час руху по зараженій місцевості обов'язково потрібно дотримуватися наступних правил:

- пересуватися швидко, але не бігти щоб не підіймати пил;
- не торкатися будівель та навколишніх предметів;
- не наступати та не торкатися краплин рідини або порошкоподібних насипів невідомих речовин;
- не знімати засоби індивідуального захисту;
- при виявленні слідів СДОР на шкірі, взутті, одязі, засобах індивідуального захисту видалити її тампоном з паперу або тканини, при можливості промити заражене місце водою;
- допомогти покинути зону зараження дітям та літнім людям, що не здатні рухатися самостійно;
- намагатися оминати переходи через яри, тунелі та лощини, адже на низькій місцевості може бути висока концентрація СДОР.

Покинувши зону ураження потрібно скинути верхній одяг та залишити його на вулиці, прийняти душ з милом, ретельно промити очі та прополоскати рот.

При підозрі на ураження СДОР необхідно виключити будь-які фізичні навантаження, випити велику кількість рідини та звернутися до медичного працівника або до медичної установи.

Про усунення небезпеки і про порядок подальших дій населення сповіщається спеціально уповноваженими органами або міліцією. Вхід до житлових будинків та виробничих приміщень дозволяється тільки після перевірки на наявність СДОР у повітрі.

ВИСНОВКИ

В ході роботи було розроблено методику створення постпроцесорів для програмного пакету Siemens NX за допомогою генератора постпроцесорів Post Builder. Створено постпроцесор для фрезерного верстата зі стійкої ЧПК WL4M. Забезпечено реалізацію постійних циклів у форматі, якого вимагає система числового програмного керування. Було отримано керуючу програму, шляхом програмування обробки у середовищі системи автоматизованого проектування Siemens NX та її постпроцесування. Використовуючи отриману керуючу програму було перевірено правильність роботи постпроцесора на стійці ЧПК.

В розділі охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях було з'ясовано, що використання постпроцесорів може зменшити вплив деяких шкідливих психофізіологічних факторів. Також було проаналізовано потенційні небезпеки, що можуть виникнути при проведенні досліджень у навчальній аудиторії, обладнаній ПК з ВДТ. Розроблені заходи з техніки безпеки, санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки для зменшення впливу небезпечних та шкідливих чинників. Описані норми поведінки і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Босинзон М.А. Современные системы с ЧПУ и их эксплуатация: учеб. пособие для нач. проф. образования / Босинзон М.А.; под ред. Б.И. Черпакова. – 5-е изд., стер. – М. :Издательский центр «Академия», 2012. – 192с.
2. Глебов И.Т. Учимся работать на фрезерном станке с ЧПУ: Екатеринбург: УГЛТУ, 2015.- 115 с.
3. Пайвин А.С. Основы программирования станков с ЧПУ: Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2015. – 102 с.
4. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Пер. с англ. Вахитов А.М.; Солнышков Д.А. – СПб.: Питер, 2004. – 560с.
5. Мирошин Д.Г. Технология программирования и эксплуатация станков с ЧПУ: учебное пособие / Мирошин Д.Г., Шестакова Т.В., КостинаО.В.. - Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.- пед. ун-та, 2011. - 79 с.
6. WL4M Руководство по программированию. - http://www.wl.com.ua/sites/default/files/doc_files/programmer_manual.pdf
7. Википедия. Числове програмне керування. - https://uk.wikipedia.org/wiki/Числове_програмне_керування.
8. Байбак К.В. Имитационное моделирование механической обработки изделий в программной среде САМ-системы. Автореф. дис. кан. тех. наук. – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – 20с.
9. 9.Аверчинков В.И. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ: учеб. пособие для вузов / Аверчинков В.И., Жолобов А.А., Мрочек Ж.А., АверчинковА.В.. - М.:ФЛИНТА, 2011. – 212 с.
10. Решения управления жизненным циклом изделия Siemens. - <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/NX-Customization-and-Programming/ct-p/NXProgramming>

11. Гончаров П.С. NX для конструктора машиностроителя: Учеб. пособие / Гончаров П.С.- М. : ДМК Пресс, 2010.
12. Ведмидь П.А. Основы NX САМ: Учеб. Пособие / Ведмидь П.А., Сулинов А.В.. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 216 с.
13. Студопедия. Справочник по генератору постпроцессоров. - https://studopedia.ru/20_52701_Pbcmdspindletabletcl.html
14. 14.WL4(5). Руководство по программированию. - http://www.wl.com.ua/sites/default/files/doc_files/Manual_programming.pdf
15. ISO6983-1:2009 - Automation systems and integration. Numerical control of machines. Program format and definitions of address words .Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems (Системи автоматизації та інтеграції. Числове програмне керування. Формати програми та визначення адресних слів. Частина : Формат даних для позиціонування, системи керування лінійним та контурним рухом).
16. Брент Уэлш. Практическое программирование на Tcl и Tk/ Пер. с англ. Пегова С.А. – М.: Наука, 2004. – 120 с.
17. Кожевников Д.В. Режущий инструмент: Учебник / Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В.; [Под ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2005. – 528 с.
18. Режущий инструмент компании Sandvik. - <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products>

ДОДАТОК А. ПЕРЕЛІК ПІДГОТОВЧИХ ФУНКЦІЙ

Таблиця А.1 – Перелік підготовчих функцій СЧПК WL4М

Код G	Група	Функція
0	1	Позиціювання (прискорене переміщення)
1		Лінійна інтерполяція (робоча подача)
2		Колова інтерполяція за годинниковою стрілкою
3		Колова інтерполяція проти годинникової стрілки
4	-	Пауза
9		Гальмування у кінці кадру
17	2	Вибір площини обробки XY
18		Вибір площини обробки XZ
19		Вибір площини обробки YZ
40	3	Скасування корекції на радіус інструмента
41		Корекція на радіус інструмента зліва
42		Корекція на радіус інструмента справа
43	4	Корекція на довжину інструмента в +
44		Корекція на довжину інструмента в -
49		Скасування корекції на довжину інструмента
53	5	Повернення до системи координат верстата
54-59		Вибір системи координат заготовки 1-6
92		Задання системи координат
60	6	Гальмування в кінці кадру
63		Гальмування в кінці кадру, фіксація 100% ручного регулювання подач
64		Автоматичний розрахунок швидкості в кінці кадру
80	7	Скасування постійного циклу
81		Цикл свердлення, цикл точкового розточування
82		Цикл свердлення, цикл зенкування
83		Цикл глибокого свердлення
84		Цикл нарізання різьби мітчиком
85		Цикл розточування
86		Цикл розточування з зупинкою шпинделя
87		Цикл розточування з орієнтацією та відводом
88		Цикл розточування з паузою, орієнтацією та відводом
89		Цикл розточування з паузою
90	8	Завдання в абсолютних величинах
91		Завдання в прирощенні
94	9	Подача F в мм/хв.
95		Подача F в мм/оберт.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ДОПОМІЖНИХ ФУНКЦІЙ

Таблиця Б.1 – Перелік допоміжних функцій СЧПК WL4M

Код М	Група	Зміст
М0	1	Зупинка
М1	1	Зупинка з підтвердженням
М2	1	Кінець програми
М3	2	Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
М4	2	Обертання шпинделя проти годинникової стрілки
М5	2	Зупинка шпинделя
М6	3	Зміна інструмента
М7-8	4	Ввімкнення охолодження
М9	4	Вимкнення охолодження
М30	1	Кінець інформації
М99	1	Кінець програми

ДОДАТОК В. НАЗВИ СЛІВ З ПЕРЕЛІКОМ АДРЕС ТА ДІАПАЗОНІВ ВИКОРИСТОВУВАНИХ ЗНАЧЕНЬ СЧПК WL4M

Таблиця В.1 – Перелік слів, що використовуються при програмуванні
обробки для СЧПК WL4M

Слово	Адреса	Діапазон значень	Зміст
Назва програми	%	0-9 A-Z	Назва програми
Номер кадру	N	1-65535	Номер кадру; Команда переходу на позначку
Підготовча функція	G	0-99	Визначення виду руху робочого органу
Розмірні слова	X, Y, Z	-9999.99 мм +9999.99 мм	Переміщення по координатам абс./відн. (в залежності від G90/G91)
Розмірні слова	O	-9999.99 мм +9999.99 мм	Переміщення по вісі, перпендикулярної до площини обробки (G17/18/19) в прирощенні
Розмірні слова	I, J, K	-9999.99 мм +9999.99 мм	Параметри вектора радіуса при коловій інтерполяції
Виклик підпрограми	L	nnpp	Виклик підпрограми №nn, повтор pp разів
Величина подачі	F	0.001-99999.999 мм/хв	Завдання величини подачі
Номер коректора радіусу інструменту	D	0-127	Номер коректора радіусу інструмента
Номер коректора довжини інструменту	H	0-127	Номер коректора довжини інструменту
Тривалість паузи	E	0-99999.999 сек	Тривалість паузи
Допоміжна функція	M	0-99	Вказівка на двух-позиційне управління (вкл./викл.) на верстаті
Частота обертання шпинделя	S	0-65535	Значення частоти обертання шпинделя

Продовження таблиці В.1

Допоміжна функція	T	0-99	Виклик підпрограми зміни інструменту
Змінна	#	1-399	Посилання на значення змінної
Коментар	\$		Ознака закінчення команд і початку коментаря

ДОДАТОК Г. ОПЕРАЦІЙНА КАРТА ФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК

ГОСТ 3.1424-86										Формат 3	
Дубль											
Взам											
Підп											
ЗНТУ 0214.118.004										4	1
Разроб	Букарєва				ЗНТУ	ЗНТУ 741124.004			М-113.6014.100004		
Пробер	Логамінов										010
Н. контр.	Кананов										
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры		МЗ	КОИД	
Фрезерна з ЧПК		Сталь 45 ГОСТ 1050-88		143..179 HB	к2	2,2	55x100x65		2,3	1	
Оборудование, устройства с ЧПУ		Обозначение программы		T _а	T _в	T _{пз}	T _{шт}	СОЖ			
Фрезерний з ЧПК MC 6104-13W K		741124		4,39	5,21	20	10,01	5% эмульсия из эмульсала "Укринол Т" ТУ 38-101197-76			
P		ПИ	D или B	L	f	l	s	n	v		
O 01	1. Встановити і закріпити деталь										
T 02	ПР Лещата ГОСТ 26785-70, підкладка спеціальна										
O 03											
O 04	2. Фрезерувати площину деталі в розмір 55±0,37										
T 05	ВН Швидкозміний адаптер C3-390.410-50 080A Sandvik										
O 06	РІ Фреза кінцева R300-20EH20-30L, пластинки - R300-1032M-PM 4230 4шт. Sandvik										
O 07	СІ Мікрометр МК-100-0,01 ГОСТ 6507-78										
P 08		1	55	135,5	2	1	0,3	1800	34,3		
O 09											
O 10	3. Свердлити отвори 2,3 Ø8,5 на глибину 45 мм										
T 11	ВН Швидкозміний адаптер C3-390.410-50 080A Sandvik										
O 12	РІ Свердло R860.1-0850-080A1-PM 4234 Sandvik										
P 13	СІ Нутромір індикаторний НН-10-0,01 ГОСТ 868-82; Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-73										
OK											

ГОСТ 3.1424-86										Формат 2а	
Дубль											
Взам											
Підп											
ЗНТУ 0214.117.001										2	
ЗНТУ 741124.004										М-113.6014.100004	
										010	
P		ПИ	D или B	L	f	l	s	n	v		
P 01		2	8,5	46,547	4,25	2	0,27	1800	178		
O 02											
O 03	3. Зенкувати фаски 4,5 в розмір 0,75x45°										
T 04	ВН Втулка перехідна										
O 05	РІ Зенковка канічна 2353-0115 ГОСТ 14953-80										
O 06	СІ Шаблон спеціальний										
P 07		3	10	3,6	0,75	2	0,1	924	36		
O 08											
O 09	4. Нарізати різьбу M10 в отворах 2, 3 на глибину 15										
T 10	ВН Швидкозміний адаптер C3-390.410-50 Coro Chuck 970 Sandvik										
O 11	РІ Мітчик E258M10 Sandvik										
O 12	СІ Мікрометр різьбовий МВМ 0-25 ГОСТ 6507-78										
P 13		4	10	17	15	2	15	477	15		
O 14											
O 15	5. Свердлити наскрізний отвір Ø29										
O 16	ВН Швидкозміний адаптер C3-390.410-50 080A Sandvik										
O 17	РІ Свердло корпус - 880-D3000C4-03; пластинки - 880-05 03 0511-C-LM 4344 Sandvik										
O 18	СІ Нутромір індикаторний НН-50-0,01 ГОСТ 868-82										
OK											

ГОСТ 3.1404-86										Форма 2а		
Діагн.	Взам.	Підп.								ЗНТУ 0214.117.001	3	
										ЗНТУ 74.1124.004	М-113.6014.100004	010
Р	П	Д или В	L	f	L	s	п	v				
Р 01	5	29	58,006	15	1	0,6	1273	120				
02												
03	6. Разточити отвір 6 $\phi 30$											
04	ВИ Разточна головка R429 Sandvik											
05	РИ Разточний різець: державка - 825-36EC06-C4; пластинка - ТМСТ06Т102 U5015 Sandvik											
06	СИ Нутромір індикаторний НІИ-50-0,01 ГОСТ 868-82											
Р 07	6	30	57,5	0,5	1	0,1	2600	245				
08												
09	7. Разточити виточку 7 $\phi 34$ на глибину 12											
10	ВИ Разточна головка R429 Sandvik											
11	РИ Разточний різець: державка - 825-36EC06-C4; пластинка - ТМСТ06Т102 U5015 Sandvik											
12	СИ Нутромір індикаторний НІИ-50-0,01 ГОСТ 868-82											
Р 13	7	34	14	2	1	0,4	2294	245				
14												
15	7. Разточити виточку 7 $\phi 35$ на глибину 12											
16	ВИ Разточна головка R429 Sandvik											
17	РИ Разточний різець: державка - 825-36EC06-C4; пластинка - ТМСТ06Т102 U5015 Sandvik											
18	СИ Нутромір індикаторний НІИ-50-0,01 ГОСТ 868-82											
OK												

ГОСТ 3.1404-86										Форма 2а		
Діагн.	Взам.	Підп.								ЗНТУ 0214.117.001	4	
										ЗНТУ 74.1124.004	М-113.6014.100004	010
Р	П	Д или В	L	f	L	s	п	v				
Р 01	8	35	14	0,5	1	0,1	3456	380				
02												
03	9. Разточити виточку 8 $\phi 37$ на глибину 1											
04	ВИ Разточна головка R429 Sandvik											
05	РИ Разточний різець: державка - 825-45TC09-C4; пластинка - ТМСТ090204 U5015 Sandvik											
06	СИ Нутромір індикаторний НІИ-50-0,01 ГОСТ 868-82											
Р 07	9	37	1,8	1	1	0,4	2108	245				
08												
09	10. Разточити виточку 8 $\phi 38$ на глибину 1											
10	ВИ Разточна головка R429 Sandvik											
11	РИ Разточний різець: державка - 825-45TC09-C4; пластинка - ТМСТ090204 U5015 Sandvik											
12	СИ Нутромір індикаторний НІИ-50-0,01 ГОСТ 868-82											
Р 13	10	38	1,8	0,5	1	0,1	3183	380				
14												
15	11. Зняти деталь											
16												
17												
18												
OK												

ДОДАТОК Д. КАРТА ЕСКІЗІВ ОПЕРАЦІЇ ФРЕЗЕРНОЇ З ЧПК

				ГОСТ 3.1105-84				Форма 7	
Дубл.									
Взам.									
Подл.									

				ЗНТУ 02141.17.001		1	1
Разраб.	Бухарєва			ЗНТУ	ЗНТУ 741124.004	М-113.20141.00004	
Перевір.	Логомїнов						
Н контр.	Кононов			Блок			

$\nabla Ra\ 12,5\ \sqrt{1}$

A-A

1H14, h14 ±IT14/2

1H14, h14 ±IT14/2

ДОДАТОК Е. КЕРУЮЧА ПРОГРАМА ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «БЛОК»

%

N1 G0 G17 G40 G49 G53 G64 G80 G90 G94

N2 G36 Z0.0

N3 G36 X0.0 Y0.0

N4 G54

\$ OPERATION:FLOOR_WALL

\$ TOOL:419-042C-14M DIAMETER:30.0

N5 T1 M6

N6 G0 G90 X-18. Y35. A0.0 S1800 M3

N7 G43 Z11. H01

N8 Z3.

N9 G1 Z0.0 F343. M8

N10 X-15.

N11 X115.

N12 Y26.06

N13 X-15.

N14 Y17.12

N15 X115.

N16 Y8.18

N17 X-15.

N18 Y-.76

N19 X115.

N20 Y-9.7

N21 X-15.

N22 Y-18.64

N23 X115.

N24 X118.

N25 Z3.

N26 G0 Z11.

N27 Z65.

N28 X50. Y90.

N29 M9

\$ OPERATION:DRILLING_CYCLE_G83

\$ TOOL:STD_DRILL DIAMETER:8.5

N30 T2 M6

N31 G0 X15. Y0.0 A0.0 S1800 M3

N32 G43 Z10. H02

N33 G17 G83 #2=10. #3=-46.547 #5=7.758 F360.

N34 X15. Y0.0

N35 #2=10. #3=-46.547 #5=7.758

N36 X85.
N37 G80
N38 G0 Z65.
N39 X50. Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_1_CYCLE_G82
\$ TOOL:COUNTER_SINK DIAMETER:10.0
N40 T3 M6
N41 G0 X15. Y0.0 A0.0 S924 M3
N42 G43 Z10. H03
N43 G82 #2=10. #3=-3.6 #4=.13 F92.
N44 X15. Y0.0
N45 #2=10. #3=-3.6 #4=.13
N46 X85.
N47 G80
N48 G0 Z65.
N49 X50. Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_2_CYCLE_G84
\$ TOOL:E258M10 DIAMETER:10.0
N50 T4 M6
N51 G0 X15. Y0.0 A0.0 S477 M3
N52 G43 Z10. H04
N53 G84 #2=10. #3=-17. F716.
N54 X15. Y0.0
N55 #2=10. #3=-17.
N56 X85.
N57 G80
N58 G0 Z65.
N59 X50. Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_3_CYCLE_G81
\$ TOOL:STD_DRILL_1 DIAMETER:29.0
N60 T5 M6
N61 G0 X50. Y0.0 A0.0 S1273 M3
N62 G43 Z10. H05
N63 G81 #2=10. #3=-58.006 F764.
N64 X50. Y0.0
N65 G80
N66 G0 Z65.
N67 Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_4_CYCLE_G85
\$ TOOL:825-36TC06-C4 DIAMETER:30.0
N68 T6 M6
N69 G0 X50. Y0.0 A0.0 S2600 M3
N70 G43 Z10. H06
N71 G85 #2=10. #3=-57.5 F260.

N72 X50. Y0.0
N73 G80
N74 G0 Z65.
N75 Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_5_CYCLE_G86
\$ TOOL:BORE DIAMETER:34.0
N76 T7 M6
N77 G0 X50. Y0.0 A0.0 S2294 M3
N78 G43 Z10. H07
N79 G86 #2=10. #3=-12. F918.
N80 X50. Y0.0
N81 G80
N82 G0 Z65.
N83 Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_6_CYCLE_G87
\$ TOOL:825-45TC09-C4 DIAMETER:35.0
N84 T8 M6
N85 G0 X50. Y0.0 A0.0 S3456 M3
N86 G43 Z10. H08
N87 G87 #2=10. #3=-12. F346.
N88 X50. Y0.0
N89 G80
N90 G0 Z65.
N91 Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_7_CYCLE_G89
\$ TOOL:BORE_1 DIAMETER:37.0
N92 T9 M6
N93 G0 X50. Y0.0 A0.0 S2108 M3
N94 G43 Z10. H09
N95 G89 #2=10. #3=-1. #4=.057 F843.
N96 X50. Y0.0
N97 G80
N98 G0 Z65.
N99 Y90.
\$ OPERATION:DRILLING_8_CYCLE_G88
\$ TOOL:825-45TC09-C4_38 DIAMETER:38.0
N100 T10 M6
N101 G0 X50. Y0.0 A0.0 S3183 M3
N102 G43 Z10. H10
N103 G88 #2=10. #3=-1. #4=.2 F318.
N104 X50. Y0.0
N105 G80
N106 G0 Z65.
N107 Y90.

N108 M5

N109 G36 Z0.0

N110 G36 X0.0 Y0.0

N111 M30

%%

ДОДАТОК Є. РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ ПОСТПРОЦЕСОРА НА СТІЙЦІ СПК WL4M

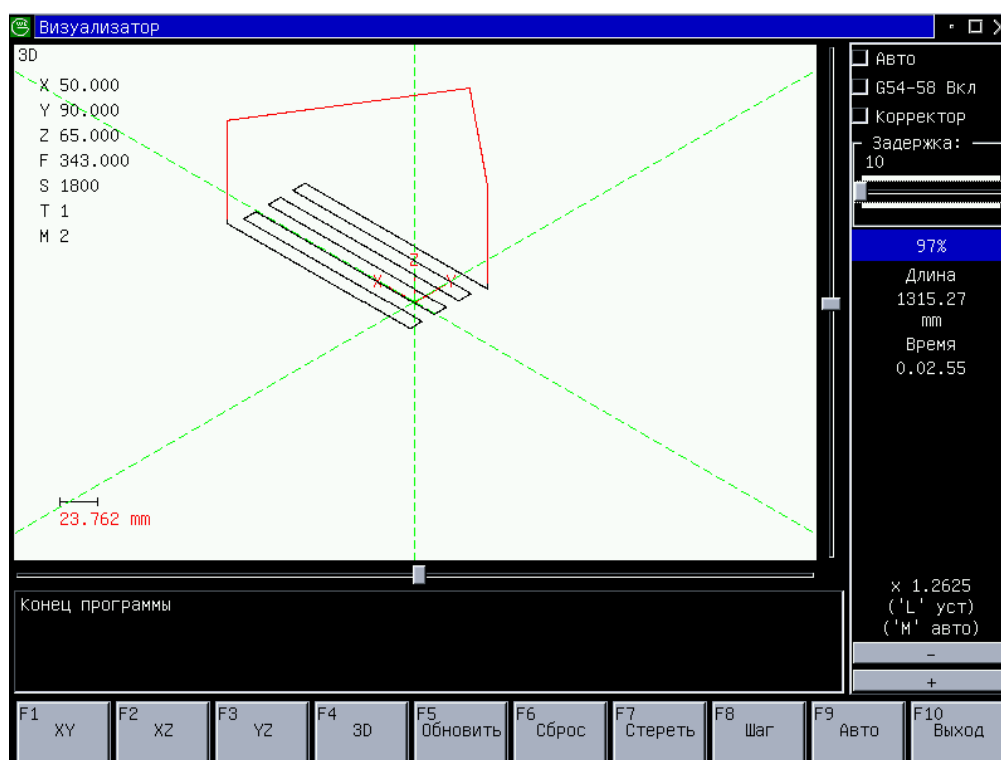


Рисунок Д.1 – Траєкторія переміщення інструмента при фрезеруванні

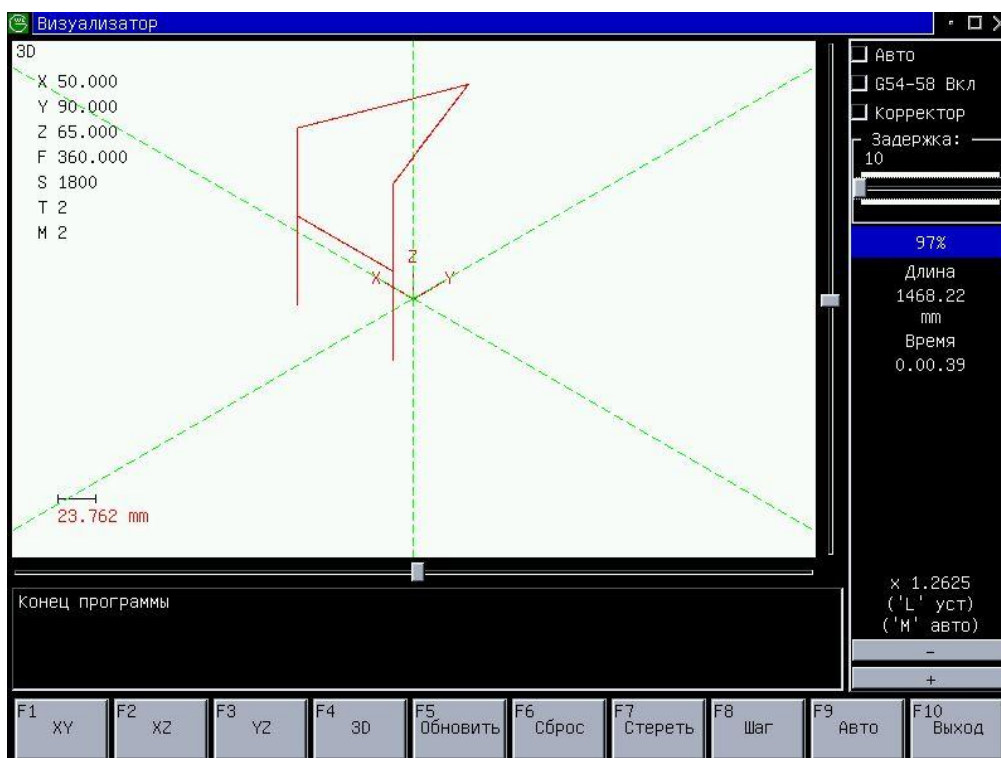


Рисунок Д.2 – Траєкторія переміщення інструмента при відпрацюванні циклу G83

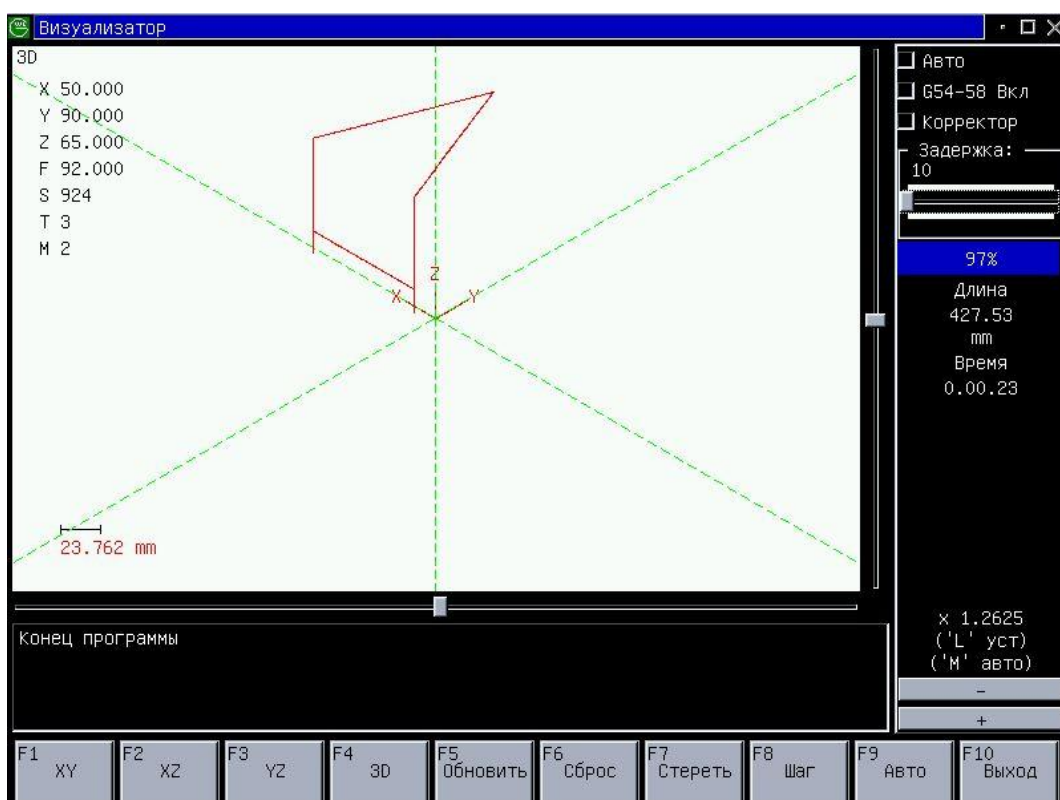


Рисунок Д.3 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G82

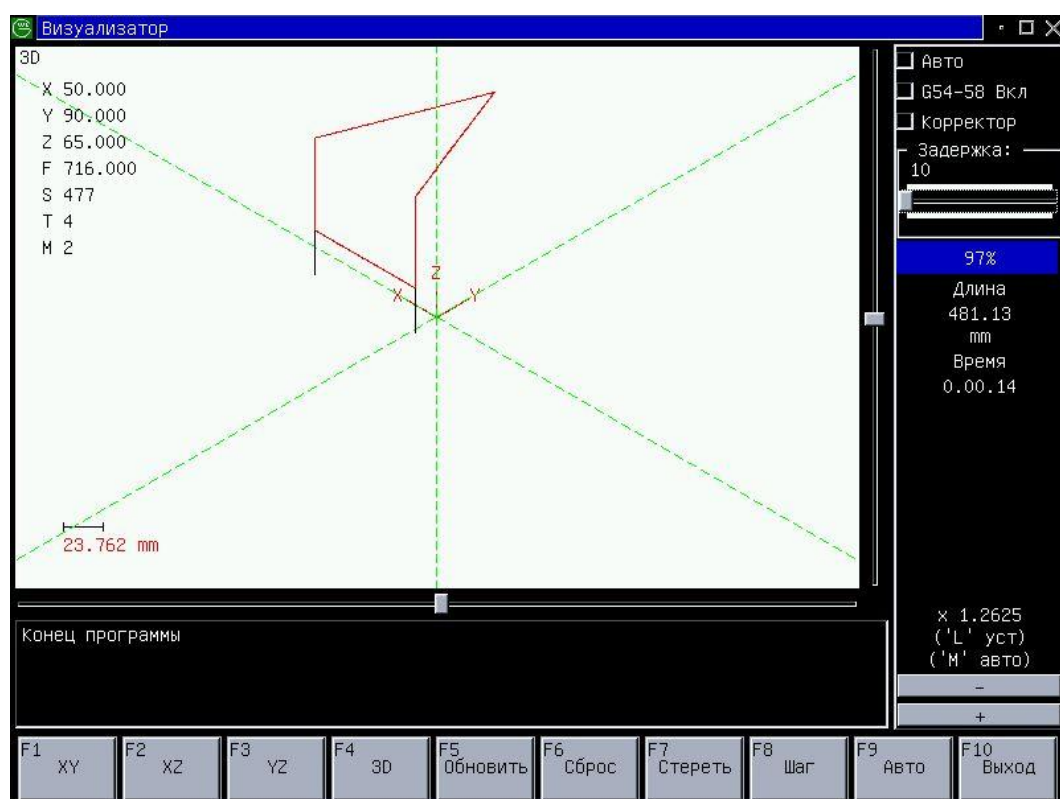


Рисунок Д.4 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G84

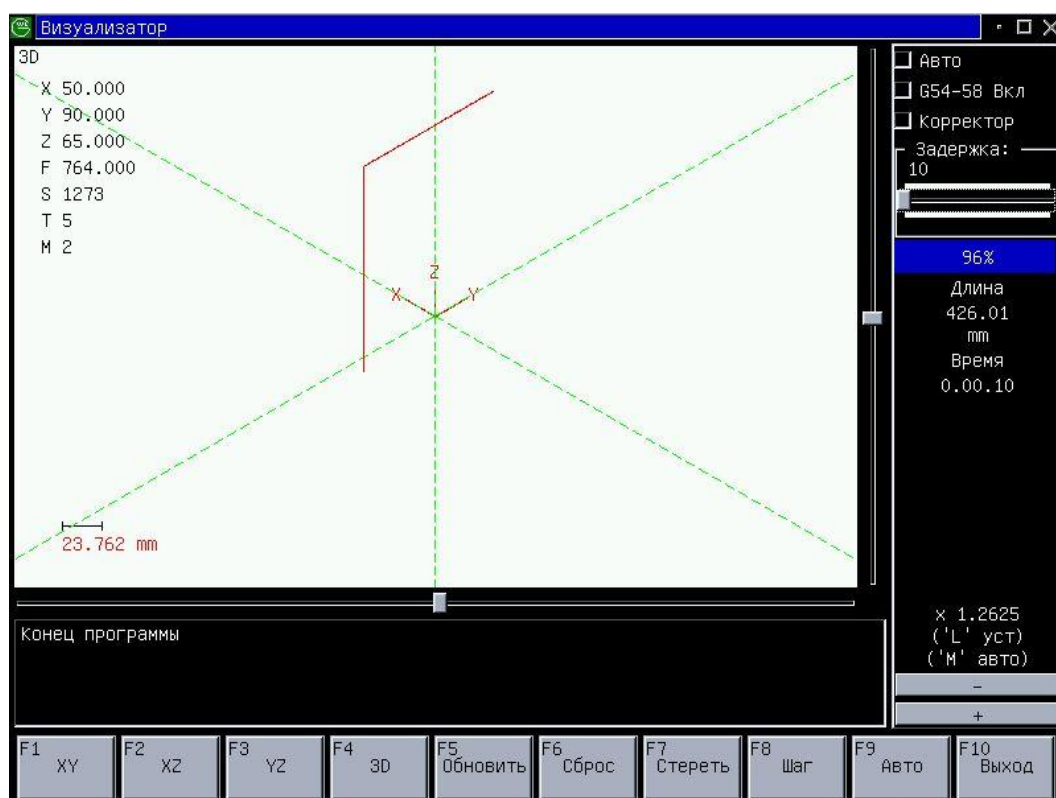


Рисунок Д.5 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G81

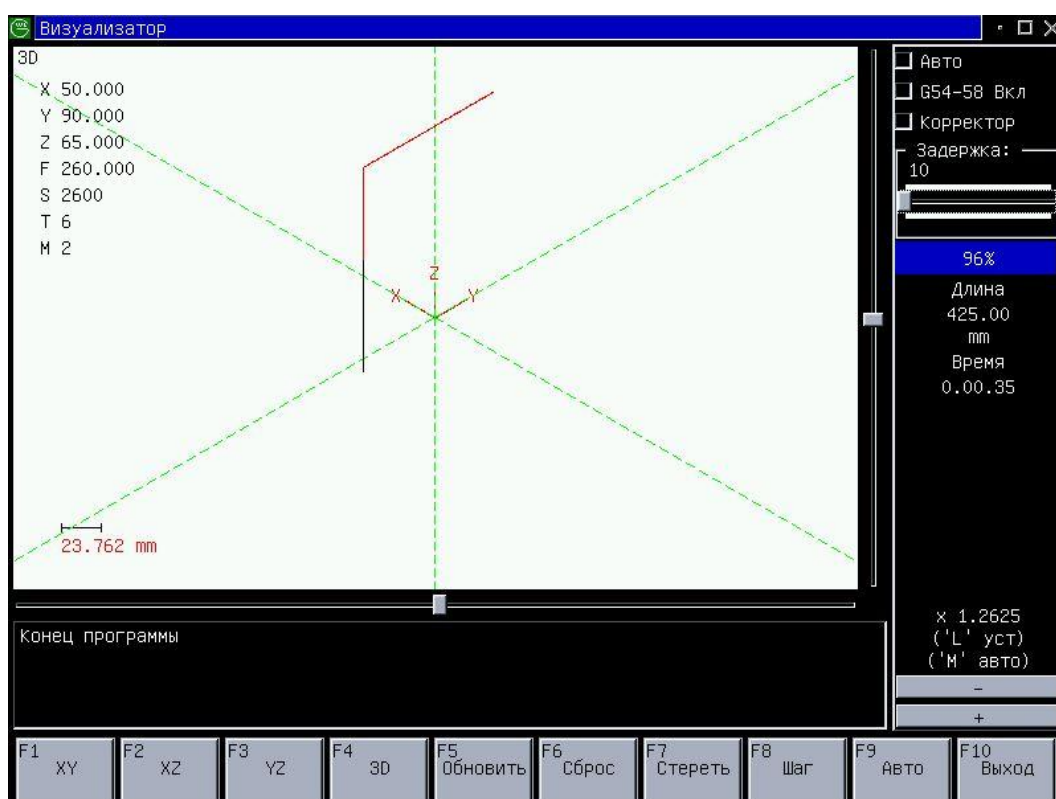


Рисунок Д.6 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G85

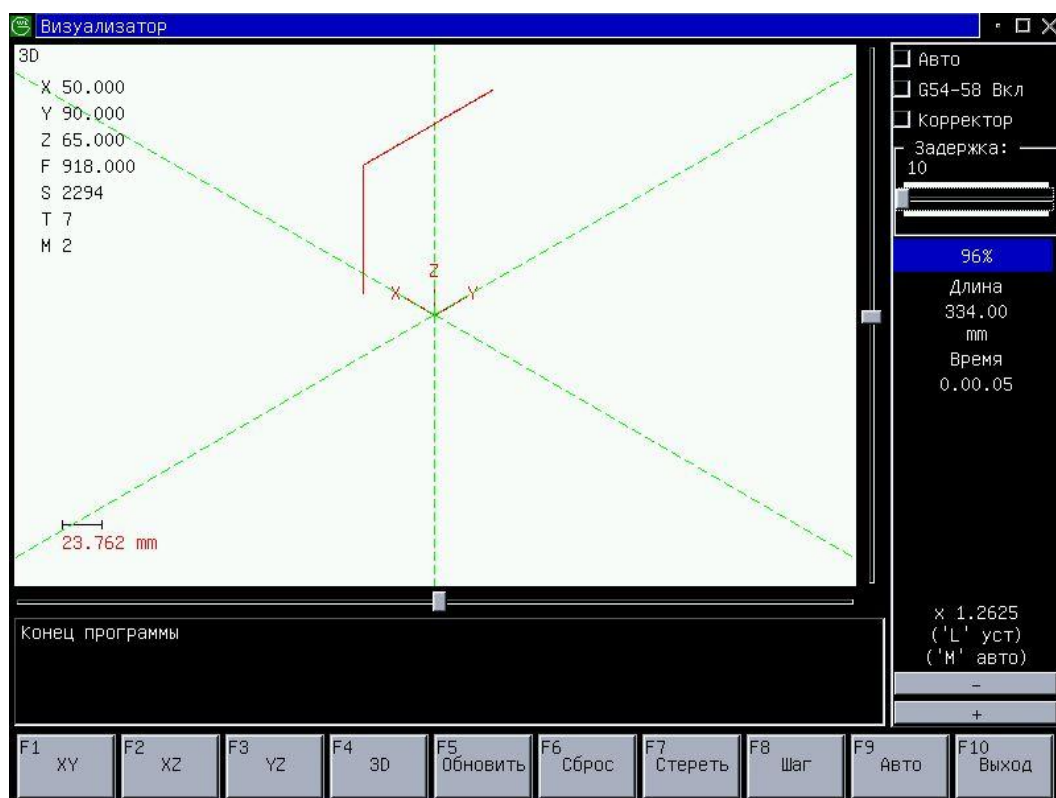


Рисунок Д.7 – Траектория перемещения инструмента при відпрацюванні циклу G86

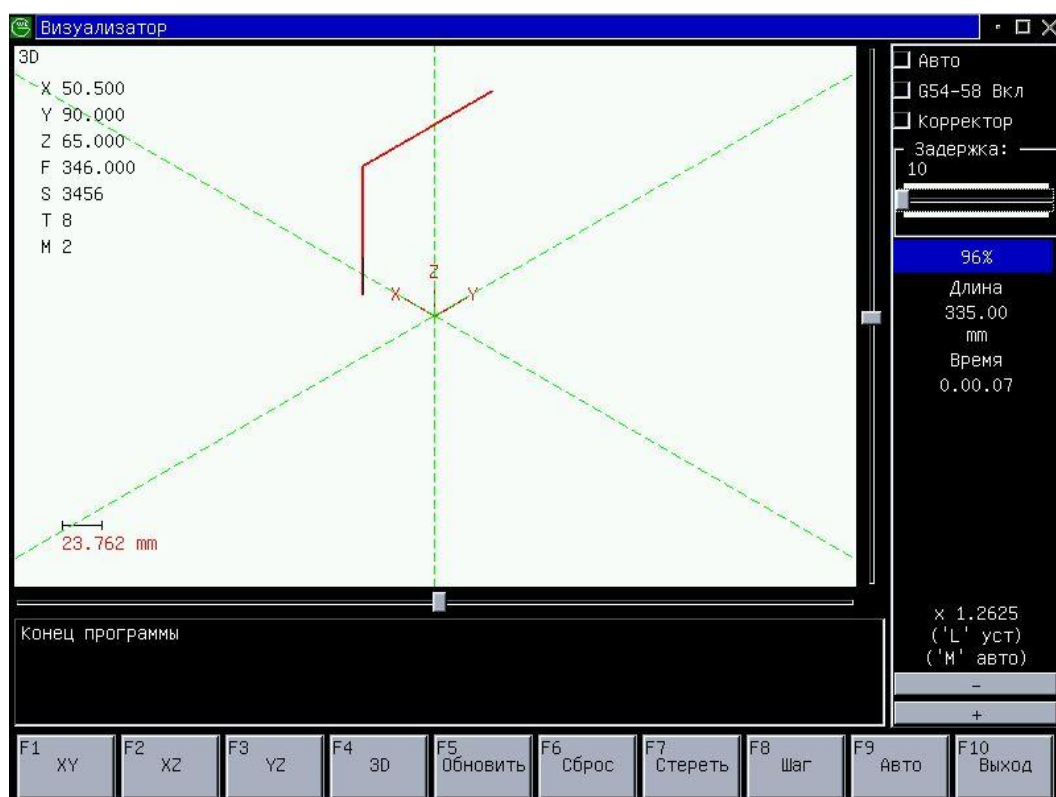


Рисунок Д.8 – Траектория перемещения инструмента при відпрацюванні циклу G87

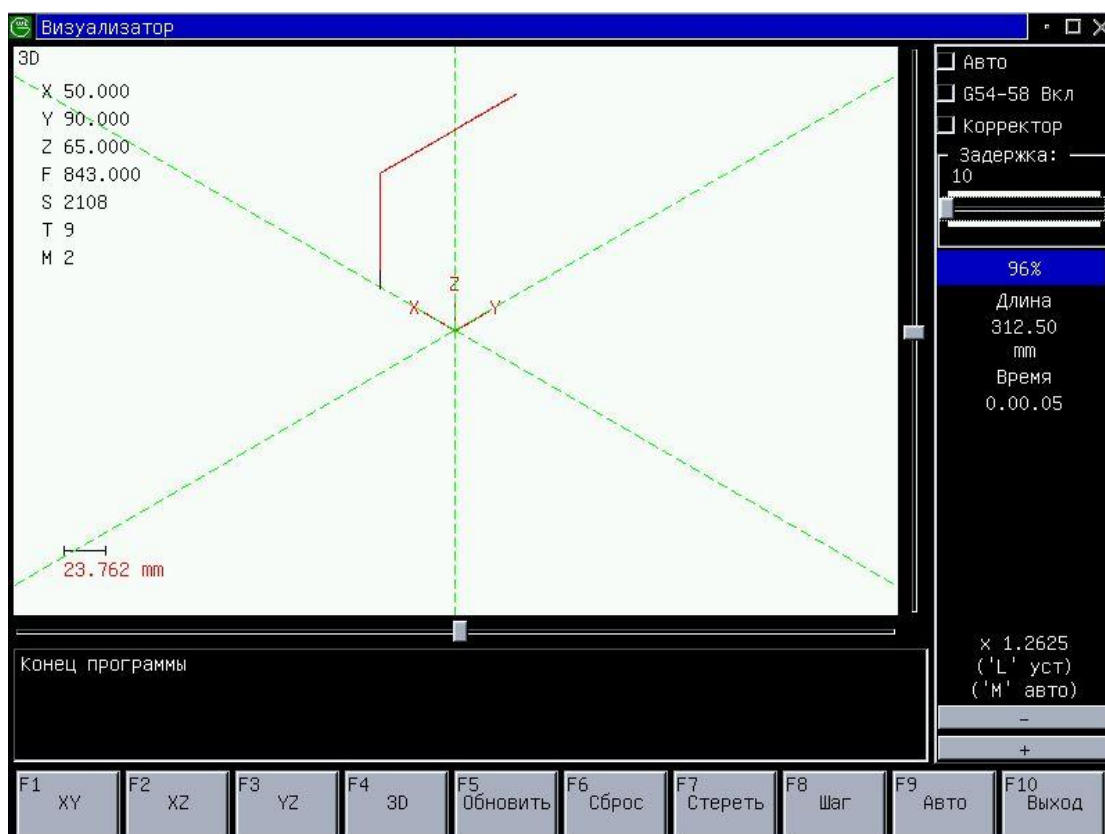


Рисунок Д.9 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G89

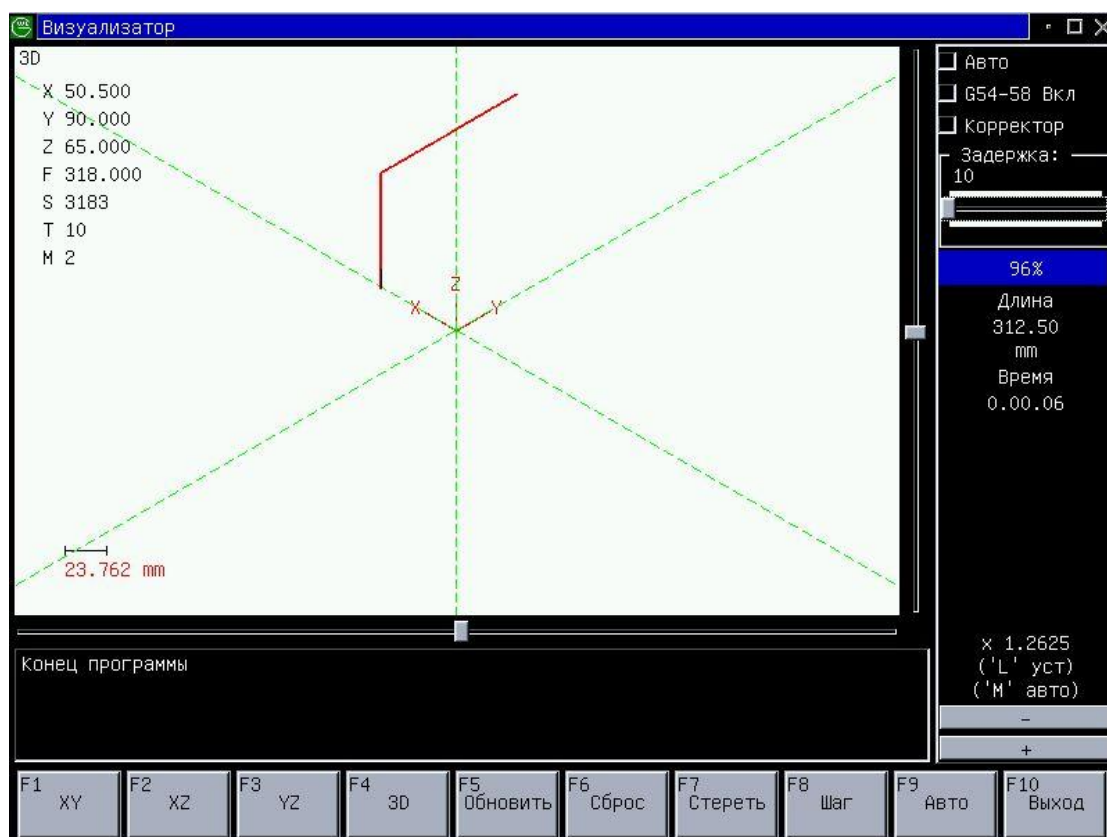


Рисунок Д.10 – Траектория перемещения інструменту при відпрацюванні циклу G88

