

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Комп'ютеризована система керування

свердлильно-фрезерним трьохосовим верстатом

Виконав: студент IV курсу, групи СІс-42

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Фірман М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О..

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Никитюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль -2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
Студенту Фірману Максиму Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Комп'ютеризована система керування
свердлильно-фрезерним трьохосовим верстатом
Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «27» 01 2025 року № 4/7-53
2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06. 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз предметної області.

2. Проектна частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Огляд ПЗ для верстатів з ЧПУ

2. Структура системи управління верстатом, що розробляється

3. Функціональна схема системи керування

4. Схема контролера прототипу

5. Загальний алгоритм функціонування системи управління

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання *27.01.2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Фірман М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Фірман М.С. Комп'ютеризована система керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. — 53 с.

Ключові слова: драйвер, калібрування, кроковий двигун, мікроконтролер, ЧПУ, arduino uno, G-code

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню та розробці системи керування верстатом з ЧПУ на мікроконтролерній основі.

Проведено аналіз вітчизняних та зарубіжних систем керування верстатами з ЧПУ та їх програмного забезпечення. Розглянуто їх позитивні та негативні особливості.

Розроблено структурну інформаційну модель процесу керування, створено схеми електричної функціональної та принципової прототипу модуля керування. Проаналізовано компоненти апаратного забезпечення і здійснено їх вибір (мікроконтролерна платформа, крокові двигуни, їх драйвери). Запропоновано внести конструктивні зміни верстата з ЧПУ для функціонування у трьохкоординатному варіанті.

Розроблено систему керування верстатом із ЧПУ на основі мікроконтролерної платформи Arduino Uno. Наведено алгоритм її функціонування та калібрування. Верхній рівень системи працює під операційну систему Windows. Виконано моделювання функціональних вузлів розробленої системи управління на натурних макетах. Представлено приклад керуючого G- коду для вирізування кола на верстаті.

ANNOTATION

Firman M. Computerized control system for a three-axis drilling and milling machine: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025. — 53 p.

Keywords: driver, calibration, stepper motor, microcontroller, CNC, arduino uno, G-code

The bachelor thesis deals with the design and development of a CNC machine tool control system based on a microcontroller.

An analysis of domestic and foreign CNC machine tool control systems and their software was carried out. Their positive and negative features were considered.

A structural information model of the control process was developed, electrical functional and principle diagrams of the prototype of the control module were created. Hardware components were analyzed and their selection was made (microcontroller platform, stepper motors, their drivers). It was proposed to make structural changes to the CNC machine tool for operation in a three-coordinate version.

A CNC machine tool control system was developed based on the Arduino Uno microcontroller platform. An algorithm for its operation and calibration is presented. The upper level of the system runs under the Windows operating system. The functional units of the developed control system were simulated on full-scale models. An example of a control G-code for cutting a circle on the machine tool is presented.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Огляд верстатів-аналогів	10
1.2 Огляд ПЗ для верстатів з ЧПУ	13
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	17
2.1 Розробка структурної інформаційної моделі процесу управління та схема електрична структурна на її основі	17
2.2. Обґрунтування вибору функціональних вузлів та розробка схеми електричної функціональної системи управління верстатом з ЧПУ	21
2.2.1 Вибір мікроконтролерної платформи	21
2.2.2 Вибір драйверів для крокових двигунів	24
2.2.3 Вибір крокових двигунів	26
2.2.4 Функціональна схема системи керування	28
2.3 Конструктивні зміни верстата для роботи у трьохкоординатному варіанті.	29
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	31
3.1 Обґрунтування вибору апаратних та програмних засобів для моделювання функціональних вузлів	31
3.2 Приклади натурного моделювання типових вузлів системи, котра розробляється.....	33
3.3 Розробка схеми електричної принципової прототипу модуля управління верстатом з ЧПУ	35
3.4 Розробка ПЗ системи управління верстатом з ЧПУ на основі промислового контролера.....	38

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Фірман М.С.						
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Луцик Н.С.						
Затверд.		Осухівська Г.М						
						Літ.	Арк.	Аркушів
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42		

3.4.1 Створення алгоритму функціонування системи керування	38
3.4.2 Приклад програмного коду	40
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	43
4.1 Працездатність людини – оператора.....	43
4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	47
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТКИ	
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Код-програма прототипа системи керування на Arduino	

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

КП – керуюча програма.

ПЗ – програмне забезпечення.

ПК – персональний комп’ютер.

ЧПУ - числове програмне управління.

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У світі автоматизація виробничих процесів стає дедалі більш актуальною. Однією з найважливіших напрямів у цій галузі є розробка систем управління верстатами з ЧПУ [1].

Тема даної кваліфікаційної роботи актуальна, оскільки заявлена тематика роботи забезпечує розробку та використання апаратно-програмних засобів як основи систем управління електромеханічними агрегатами, такими як верстати з ЧПУ, на рівні мікроконтролерів.

Мета роботи – створення системи управління свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом з ЧПУ на мікроконтролерній основі.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- проаналізувати завдання на кваліфікаційну роботу та обґрунтувати вибір прийнятого рішення;
- розробити систему управління трьохосьовим верстатом з ЧПУ;
- провести моделювання функціональних вузлів розробленої системи управління на натурних макетах;
- розробити ПЗ системи управління ЧПУ на основі промислового контролера.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд верстатів-аналогів

На сьогоднішній день існує множина різного програмного та апаратного забезпечення різного застосування та різної продуктивності і функціональності. Однак великим попитом користуються готові верстати з ЧПУ. Як приклад бюджетного рішення варто представити верстат "СКС3018Рго" з Китаю від компанії ККМООК [2] (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Верстат «СКС3018Рго»

У табл. 1.1 представлено його основні технічні характеристики.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Фірман М.С.						Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Баран І.О.									
Реценз.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42			
Н. Контр.		Луцик Н.С.									
Затверд.		Осухівська Г.М									

Таблиця 1.1 – Характеристики верстата CNC3018Pro

Характеристика	Значення
Програмне забезпечення управління	GRBL
Робоча зона	300*180x40 мм
Розмір оправи	420*355*280 мм
Шпиндель	775 мотор шпинделя (12-36 в) 24 В: 7000об/хв, 36 В: 9000об/хв
Патрон шпинделя	ER11
Кроковий двигун	1.3А
Джерело живлення	24 В/5,6 А (110 В - 240 В)
Підтримувана система	Windows XP / Win 7/ Win 8/ Win 10.
Гравірувальні матеріали	пластик, дерево, акрил, ПВХ, друкована плата та інші м'які матеріали
Підтримувані формати	jpg / bmp / png
Порт зв'язку	Micro USB
Відкритість ПЗ	ні
Можливість доопрацювання	заводські компоненти
Ціна (орієнтовна)	45 000 грн

Ще одним розглянутим аналогом є верстат «CCD/МТС» від компанії Bungard [3](рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Верстат «CCD/MTC»

У табл. 1.2 наведено його основні характеристики.

Таблиця 1.2 – Характеристики верстата CCD/MTC

Характеристика	Значення
Шпиндель	KAVO 150 Вт, 25 000-60 000 об/хв
Поверхня, що обробляється	325 x 495 мм. Переміщення осі Z до 33 мм
Програмне забезпечення приймає формати	HP/GL (фрезерування), Exellon (свердління)
Дискретність кроку	0,0254 мм
Швидкість фрезерування	до 93 мм/сек (5,6 м/хв)
Швидкість свердління	до 5 проходів/сек (18000 отворів/год)
Напруга живлення	230 В, 50 Гц
Габаритні розміри (Д x Ш x В)	500 x 600 x 450 мм
Відкритість ПЗ	ні
Можливість доопрацювання	будь-які відповідні компоненти
Ціна (орієнтована)	10000 грн

1.3 Огляд ПЗ для верстатів з ЧПУ

На ринку ПЗ для верстатів з ЧПУ так само, як і на ринку готових верстатів існує велика кількість продуктів, як дорогих і мають великий функціонал і стабільність, так і дешевих, менш функціональних. Характеристики аналізованих ПЗ представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики ПЗ

Характеристика	Aspire	ECam	HeeksCNC	Mach3
1. Ліцензія	Пропрієтарна	Пропрієтарна	Пропрієтарна	Безкоштовна
2. Функціональність	Широкий набір функцій для створення електронних схем та 3D моделей для ЧПУ	Широкий набір функцій для створення електронних схем та 3D моделей для ЧПУ, симуляція та аналіз	Широкий набір функцій для створення електронних схем та 3D моделей для ЧПУ	Базовий набір функцій для роботи з електронними схемами та 3D моделями для ЧПУ
3. Платформа	Windows	Windows	Windows	Windows, Linux
4. Підтримка	Підтримка через систему зворотного зв'язку	Технічна підтримка, навчання та курси навчання	Технічна підтримка через систему зворотного зв'язку	Онлайн форум, wiki та Github
5. Підтримка мов розробки	Verilog, VHDL	SystemC, Verilog-A/AMS, VHDL-AMS	C, Basic	C/C++, Python, Lua
7. Формати, призначені для верстата з ЧПУ	Gerber, Excellon N/C Drill, BOM	Sieb&Meyer, HPGL123, Gerber	ODB++, Gerber RS-274X / Gerber X2, Excellon N/C Drill	Excellon N/C Drill, Gerber, G-code

Їх інтерфейси наведені на рис. 1.3 – 1.5.

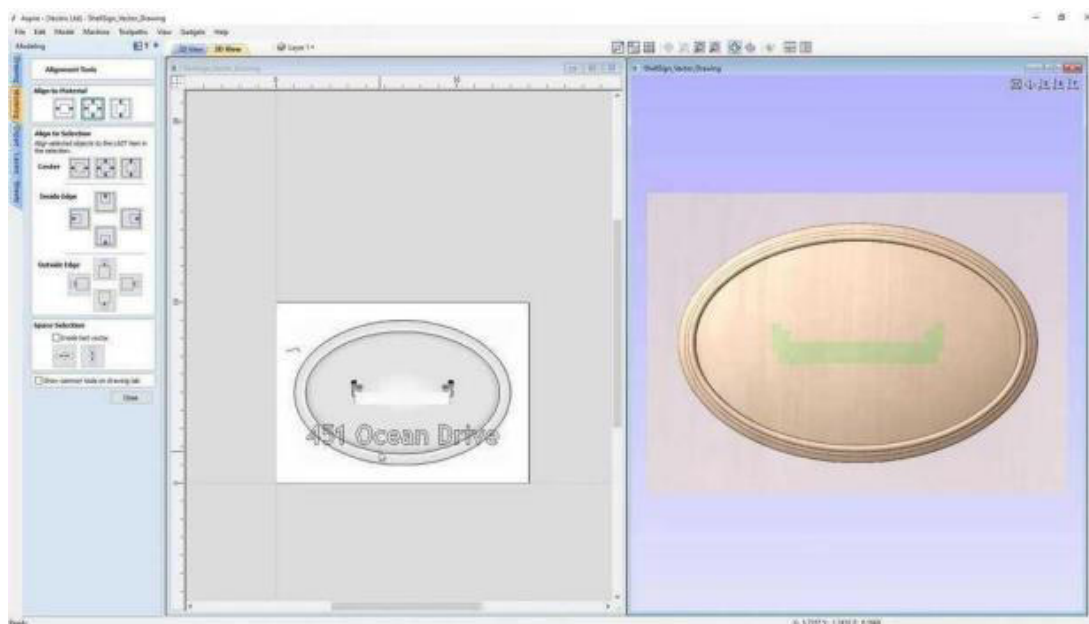


Рисунок 1.3 – Інтерфейс Aspire [4]

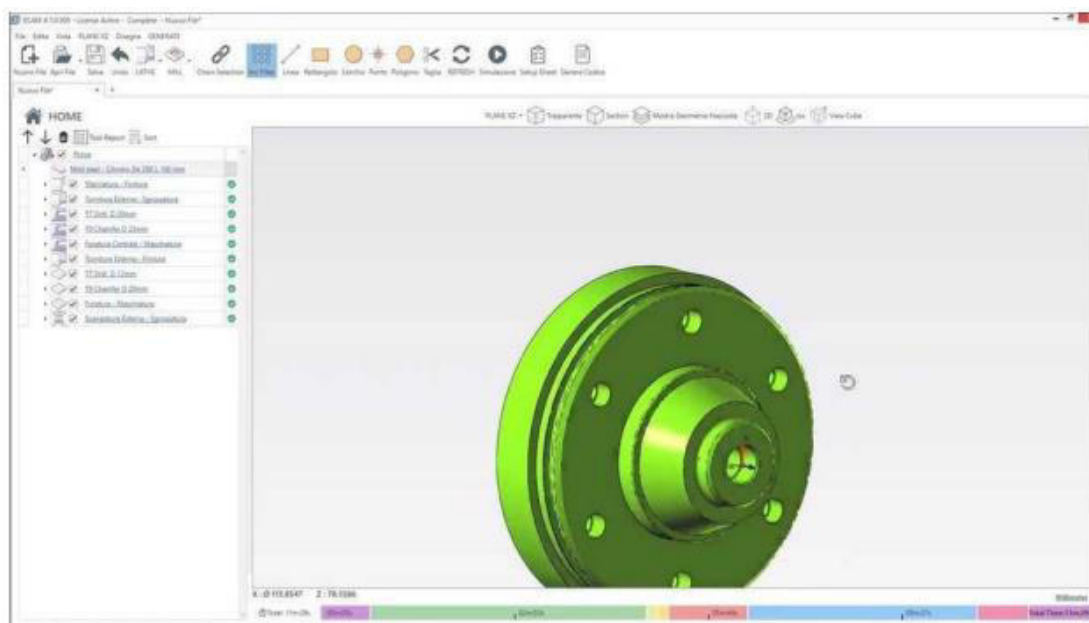


Рисунок 1.4 – Інтерфейс Ecam [5]

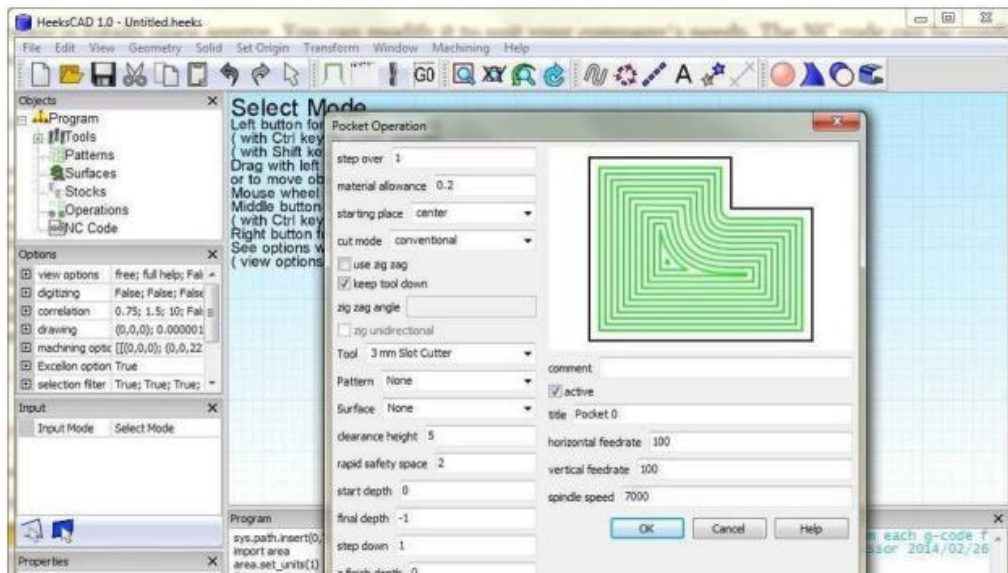


Рисунок 1.5 – Інтерфейс HeeksCNC [6]

З усіх можливих варіантів було обрано безкоштовний програмний комплекс, що має необхідний функціонал - Mach3 [7] (рис. 1.6). Це багатофункціональний пакет керування верстатами з ЧПУ. Працює під керуванням Windows. Слід сказати, що на сьогодні це найпопулярніший програмний продукт для створення систем керування верстатами з ЧПУ.

Основні функції, що забезпечуються ЧПУ:

- перетворення стандартного ПК на повнофункціональну станцію управління 3-осьовим верстатом з ЧПУ;
- тривимірне графічне представлення (візуалізація) КП G –кодів;
- генерування файлів КП G -кодів у програмі LazyCam або в Майстрах (Wizard);
- повністю реконфігурований інтерфейс;
- створення користувацьких M -кодів та макросів із використанням VB –скриптів;
- керування обертами шпинделя (їх частотою);
- вікно спостереження за перебігом обробки;
- повноекранний інтерфейс користувача.

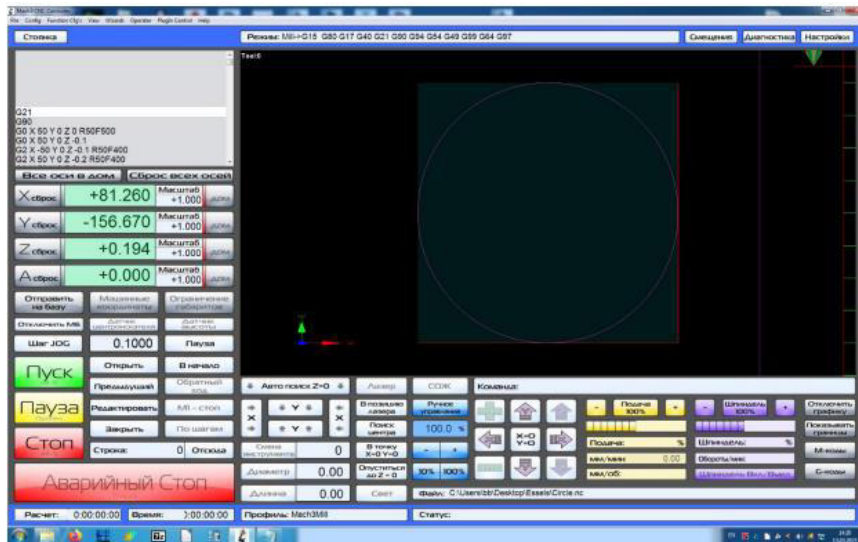


Рисунок 1.6 – Интерфейс Mach3 [7]

Було розглянуто різні готові системи з ЧПУ. Представлені моделі мають безліч переваг, але також є деякі недоліки, зокрема досить велика ціна, закритість програмного управління та забезпечення, найчастіше відсутність можливості покращення та апаратної підтримки з боку виробника.

У зв'язку з чим було ухвалено рішення розробити свій програмно-апаратний комплекс на основі заводського прототипу. Як виконавчий пристрій послужив двохосьовий електромеханічний свердлильно-фрезерний верстат для навчальних та лабораторних цілей, представлений на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Прототип електромеханічного двохосьового агрегату

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної інформаційної моделі процесу управління та схема електрична структурна на її основі

Структурна інформаційна модель процесу управління верстатом з ЧПУ є сукупністю блоків об'єкта управління та системи управління верстатом з ЧПУ (рис. 2.1).

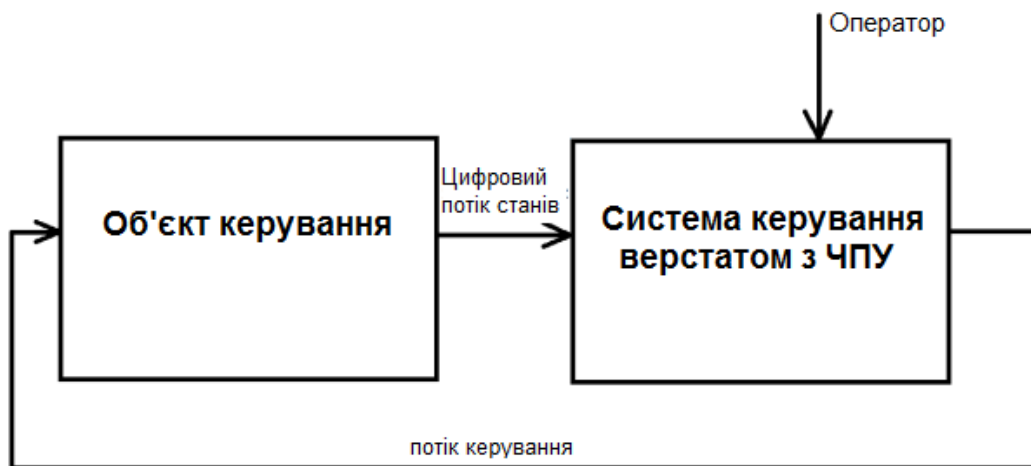


Рисунок 2.1 – Структурна інформаційна модель процесу управління верстатом з ЧПУ

Об'єкт управління породжує цифровий потік даних від шести кінцевих датчиків (по два для кожної з осей X, Y і Z). Потік управління забезпечує можливість керуючого впливу на три крокових двигуни по осям X, Y і Z. Оператор має можливість взаємодії із системою управління верстата за допомогою стандартного набору периферійних пристроїв ПК.

На основі представленої інформаційної моделі була розроблена структура верстата з ЧПУ з інтегрованим контролером, представлена на рис. 2.2.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Фірман М.С.						Літ.	Арк.
Керівник.	Баран І.О.							Аркушів
Реценз.								
Н. Контр.	Луцик Н.С.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42	
Затверд.	Осухівська Г.М							

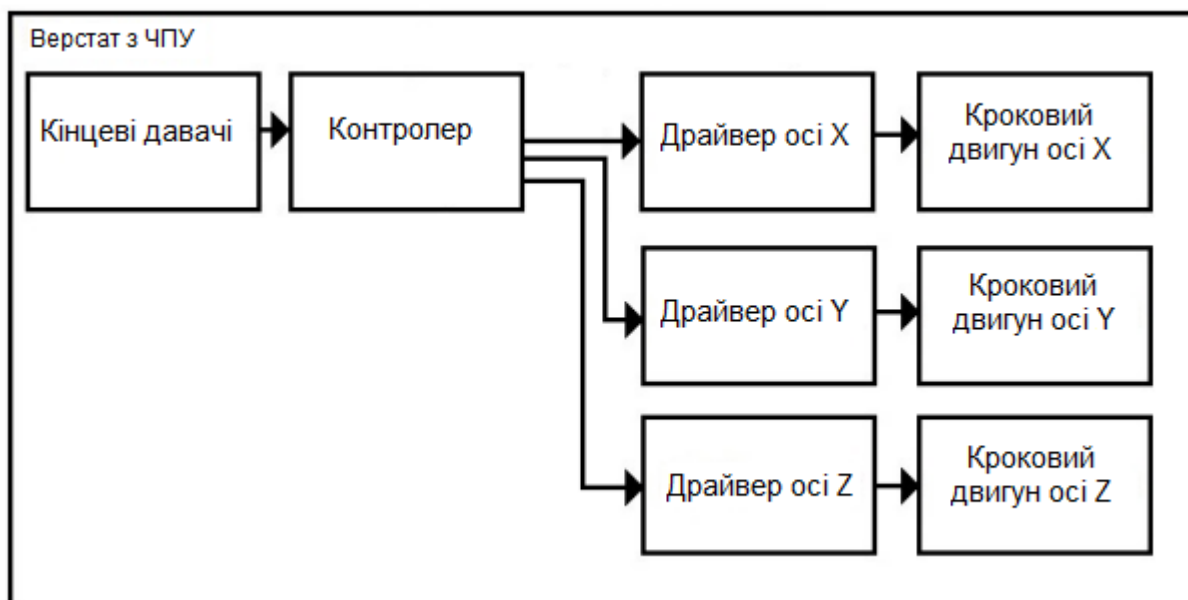


Рисунок 2.2 – Структура верстата з ЧПУ з інтегрованим контролером

Запропонована структура включає набір кінцевих давачів, пов'язаних з портами контролера, набір драйверів (формуваців), пов'язаних з вихідними портами контролера та шинами керування кроковими двигунами.

Структура системи управління верстатом, що розробляється, представлена на рис. 2.3.

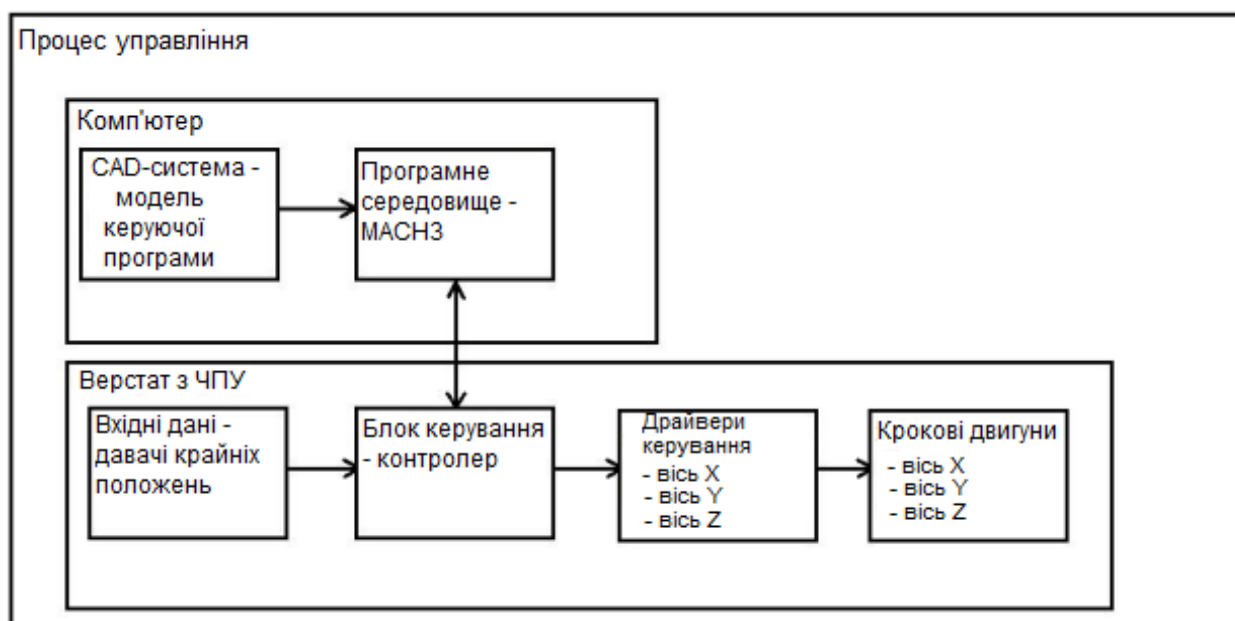


Рисунок 2.3 – Структура системи управління верстатом, що розробляється

Система управління розбивається на два рівні: верхній рівень, що складається зі стандартного ПК на системі Windows не нижче 7 версії з встановленим спеціалізованим ПЗ, і пов'язаний за інтерфейсом USB з мікроконтролером інтегрований до складу верстата з ЧПУ і нижній рівень, реалізований на програмованому контролері, котрий забезпечує функції керування кроковими двигунами по осях X, Y та Z.

ПЗ верхнього рівня представлено як комплекс програмних продуктів з розробки моделі для друку, надалі перетворену на КП, засновану на G-CODE, та програми, що використовує ці коди для управління кроковими двигунами верстата.

Програмні продукти для проектування та створення КП можна встановлювати та використовувати на будь-якому ПК. Програма керування верстатом має бути встановлена на комп'ютері, безпосередньо підключеному до верстата з ЧПУ.

2.2 Обґрунтування вибору функціональних вузлів та розробка схеми електричної функціональної системи управління верстатом з ЧПУ

2.2.1 Вибір мікроконтролерної платформи

Для обґрунтування вибору мікроконтролерної платформи було розглянуто декілька найпопулярніших моделей контролерів, таких як Buildbotics, Masso, DrufelCNC, Arduino Uno. Всі ці контролери представлені на рис. 2.4. у порядку їх згадування в тексті.



Рисунок 2.4 – Розглянуті контролери

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Контролер Buildbotics - це контролер ЧПУ з відкритим вихідним кодом, який використовується в таких ЧПУ, як фрезерний верстат Onefinity. Контролер має Raspberry Pi 3, підключений до мікроконтролера ATmega192a3u. У цьому контролері G -код, згенерований на комп'ютері, відправляється в Raspberry Pi, який відправляє його в мікроконтролер для обробки та передачі сигналів драйвери крокового двигуна та інші компоненти. Ціна даного контролера складає близько 25 000 грн плюс доставка. Хоча популярність контролера Buildbotics тільки починає зростати, він має керований компанією форум, через який можна отримати відповіді на свої запитання.

Masso G3 має систему управління в 3-осьовому, 4-осьовому та 5-осьовому варіантах. Також Masso G3 має керуюче ПЗ для трьох типів верстатів з ЧПУ, а саме фрезерних, токарних та верстатів лазерного різання з ЧПУ. Плата контролера має досить великі варіанти введення/виведення з 24 оптично ізольованими входами та 18 виходами. Що стосується підключення, Masso G3 може приймати G -код через WiFi з будь-якого пристрою (комп'ютера, телефону) через своє ПЗ MASSO Link. Ціна даного контролера варіюється від 30 000 до 38 000 грн. Masso G3 має спеціалізований онлайн-форум, а також опцію підтримки електронною поштою та портал підтримки, де можна залишити заявку у разі виникнення проблем.

Arduino Uno – це плата мікроконтролера з відкритим вихідним кодом, заснована на мікроконтролері Microchip ATmega328P та розроблена Arduino.cc і спочатку випущена у 2010 році. Плата оснащена наборами контактів цифрового та аналогового вводу/виводу (I/ O), які можуть бути підключені до різних плат розширення. Плата має 14 цифрових + 6 аналогових виводів введення-виводу та програмується за допомогою Arduino IDE через USB -кабель. Він може живитися від USB -кабелю або від зовнішнього 9-вольтового джерела живлення напругою від 7 до 20 вольт. І хоча він поступається іншим спеціалізованим контролерам за деякими параметрами, таким як точність позиціонування, необхідність підготовки та налагодження як окремих компонентів так і всієї системи, він має ряд переваг, як наприклад можливість самому написати весь керуючий код, що

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допоможе краще розуміти механіку роботи системи, гігантський функціонал і всенаправленість, а також невелика відносно інших контролерів (від 250 до 1000 грн), що робить його, ймовірно, найкращим рішенням розробки прототипу системи управління верстатом.

Після аналізу перерахованих вище контролерів, для підсумкового рішення системи було обрано контролера моделі «BSMCE04U» фірми «DrufelCNC». Цей контролер має хороші показники, як у частині управління двигунами, так і в кількості вхідних сигналів, що забезпечує можливість модернізації верстата у майбутньому. У той же час він один із найпростіших контролерів серед аналогів. Це означає, що для отримання необхідних налаштувань потрібні мінімальні навички, що також дає можливість використовувати різні варіанти крокових двигунів, драйверів, якщо потрібно виконати заміну функціональних вузлів, не змінюючи плату управління (рис. 2.5).

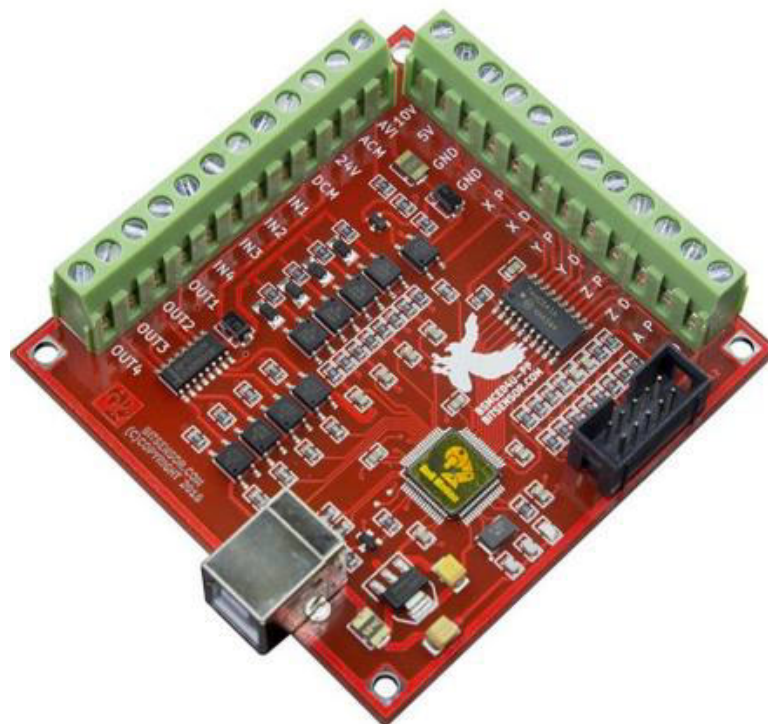


Рисунок 2.5 – Контролер B8MCБ04і [8]

Його технічні характеристики наведені в табл. 2.1.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Характеристики контролера BSMCE04U

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	12-24
Входів стану, шт	4
Виходів стану, шт	4
Інформаційні виходи на двигуни	По два на осі X, Y, Z, A
Зв'язок із ПК	Шина USB
Ціна, грн	1000

2.2.2 Вибір драйверів для крокових двигунів

При виборі драйвера крокового двигуна слід відштовхуватися не лише від характеристик двигуна, але й необхідної точності виконання переміщення. Так само слід залишити можливість для модифікації системи у разі модернізації верстата або заміни двигунів, що вийшли з ладу, на більш сучасні та надійні.

Після аналізу ринку драйверів для крокових двигунів було вибрано 3 найбільш підходящі драйвери для даного двигуна: CW-5045, TB6560, M542-05 (рис. 2.6). M542-05

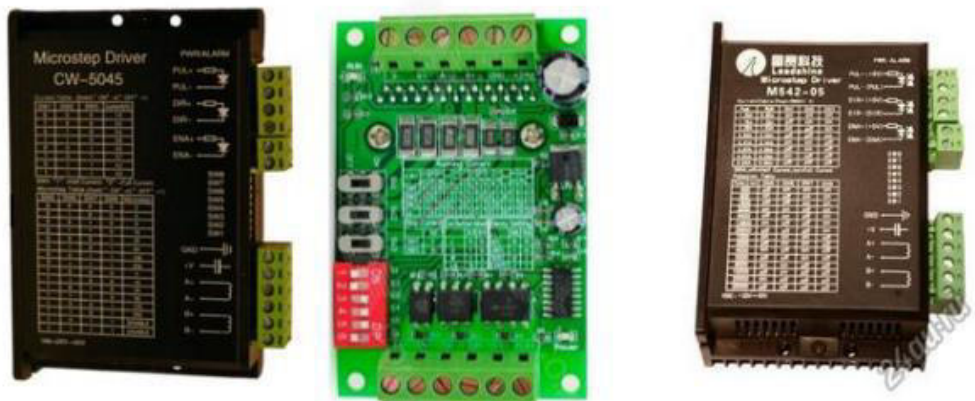


Рисунок 2.6 – Розглянуті драйвери

У табл. 2.2 – 2.4 наведено їх характеристики.

Таблиця 2.2 – Характеристики драйвера CW-5045

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	24 - 50
Номінальний струм, А	1,3 – 4,5
Мікрокрок	1 - 1/256
Зниження струму при простої	50%
Захист від короткого замикання	присутній
Захист від перегріву	присутній

Таблиця 2.3 – Характеристики драйвера ТВ65605

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	10 - 36
Номінальний струм, А	1 - 3
Мікрокрок	1 - 1/16
Зниження струму при простої	50%
Захист від короткого замикання	відсутній
Захист від перегріву	відсутній

Таблиця 2.4 – Характеристики драйвера M542-05

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	20 - 50
Номінальний струм, А	1,2 - 5,1
Мікрокрок	1 - 1/256
Зниження струму при простої	50%
Захист від короткого замикання	присутній
Захист від перегріву	присутній

Згідно із наведеними вище характеристиками, було обрано драйвер M542-05 [9].

Даний драйвер задовольняє не тільки параметри крокового двигуна та умови необхідної точності, але також досить універсальний для подальшої модернізації верстата, установки більш сучасних і продуктивних двигунів. Цей драйвер також є лідером серед конкурентів у співвідношенні ціна/функціональність, що є плюсом при виборі даного драйвера.

2.2.3 Вибір крокових двигунів

Як двигуни осей X і Y були використані штатні крокові двигуни ДШИ200 [10] (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Кроковий двигун ДШИ200

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Їх характеристики представлені нижче у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики крокового двигуна ДШИ200

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	30 (± 2)
Номінальний струм, А	1,5 ($\pm 0,1$)
Максимальний струм, А	2
Максимальна чистота роботи, кГц	1
Одиничний крок, градус	1,8
Число обмоток	4
Максимальна споживана потужність, Вт	16,7

Як двигун осі Z був використаний кроковий двигун Nema 17 [11] (рис. 2.8). Цей двигун має менші габарити щодо інших двигунів серії, таких як Nema 23 або Nema 32, але при цьому не сильно поступається їм потужністю або точністю.



Рисунок 2.8 – Кроковий двигун Nema 17

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Його параметри представлені нижче в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики крокового двигуна Nema 17

Характеристика	Значення
Напруга живлення,	3.6 на фазу
Номінальний струм, А	1,5 на фазу
Число фаз	2
Одиничний крок, градус	1,8
Число обмоток	4

2.2.4 Функціональна схема системи керування

Після обґрунтування вибору функціональних вузлів було створено функціональну схему системи керування (рис. 2.9).

Давачі положень HOME на схемі представлені ключами. Контролер системи управління представлений на схемі як і є основним елементом управління. До нього під'єднані всі давачі положення та драйвера. Також до контролера під'єднується ПК із необхідним ПЗ через інтерфейс USB.

Крокові двигуни, представлені на схемі як Step Motor, управляються драйверами Driver X, Driver Y та Driver Z. У кожного драйвера є своє живлення в 30 В. Керуючі сигнали генерує контролер відповідно до команди, котра виконується. Вхід DIR відповідає за напрямок обертання двигуна, вихід STEP відповідає за кут обертання (кожен сигнал змінює кут на 1,8 градуса).

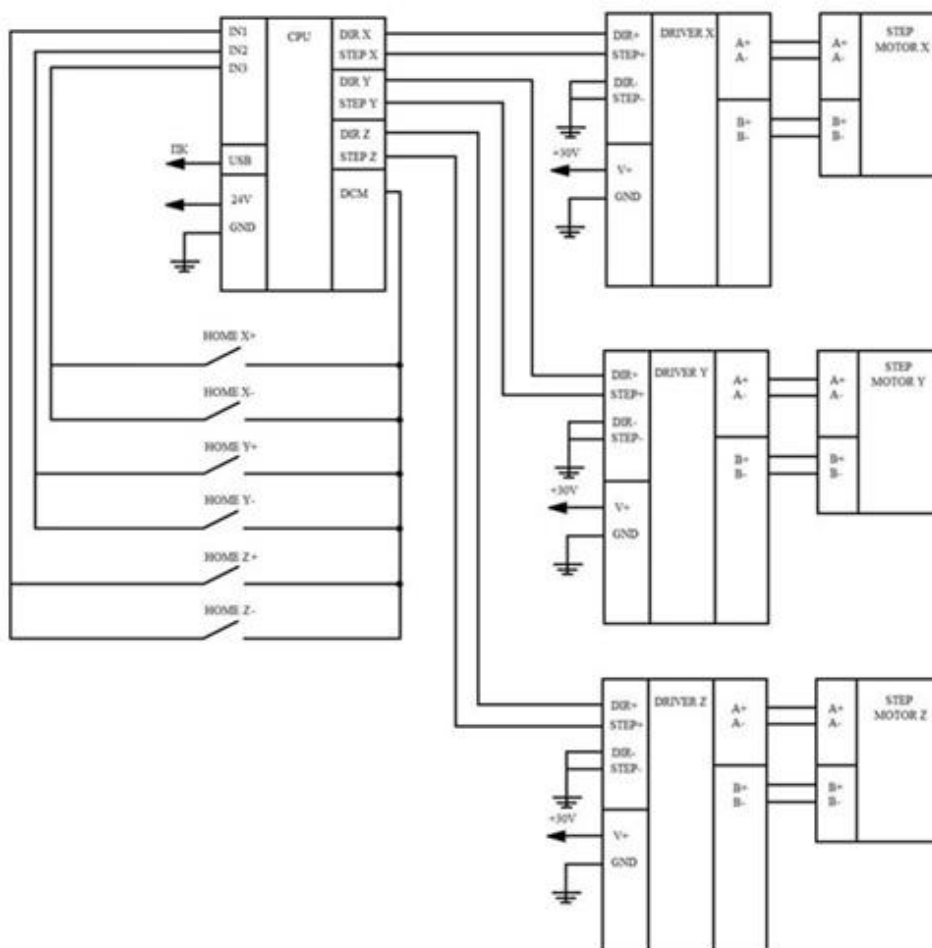


Рисунок 2.9 – Функціональна схема системи управління

2.3 Конструктивні зміни верстата для роботи у трьохкоординатному варіанті

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу верстат мав дві робочі осі, потрібно внести конструктивні зміни для збільшення функціоналу шляхом додавання третьої осі.

Готовий вид верстата представлений на рис. 2.10.

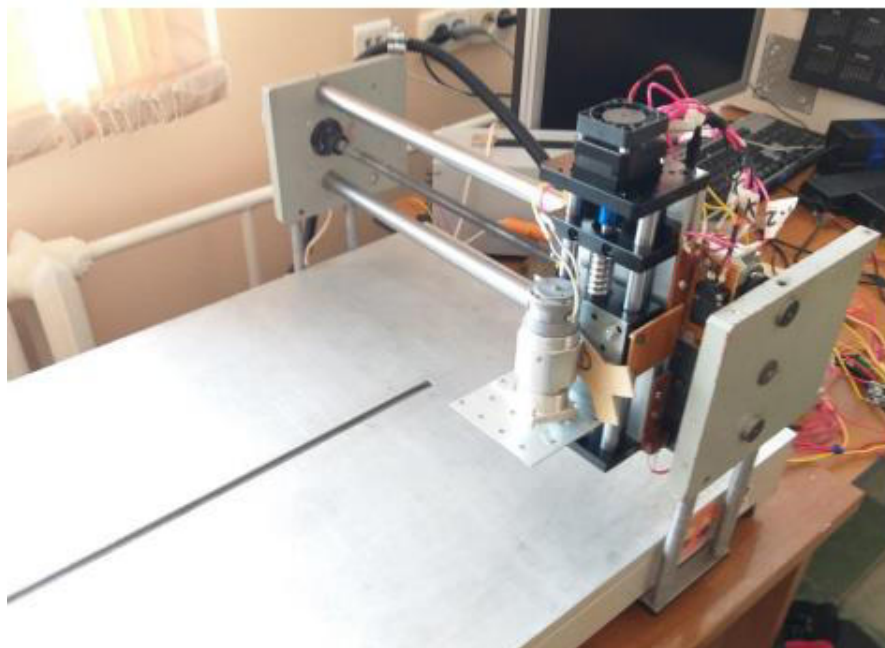


Рисунок 2.10 – Конструктивні зміни верстата з ЧПУ

Для цього було внесено такі конструктивні зміни:

- змінено положення осі Y з горизонтально - орієнтованого положення на вертикальне;
- збільшені бічні пластини шляхом додавання штанг, виточених із сталевого прута, що з'єднують основу рухомої платформи та бічні упори для напрямних осі Y;
- додано ковзний стіл осі Z, що складається зі штатних напрямних, черв'ячної передачі та каретки, до якого було встановлено кроковий двигун Nema 17;
- було змінено метод кріплення шпинделя зі штатного на більш придатний до роботи після всіх конструкційних змін.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування вибору апаратних та програмних засобів для моделювання функціональних вузлів

З усіх контролерів для прототипування найбільше підходить контролер Arduino Uno [12]. Його параметри представлена нижче в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики Arduino Uno

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Ядро	8-бітний AVR
Тактова частота	16 МГц
Flash-пам'ять	32 КБ
RAM-пам'ять	2 КБ
Піни з ШІМ	6
Розрядність ШІМ	8 біт
Напруга логічних рівнів	5 В
Вхідна напруга живлення	через USB: 5 В
Максимальний вихідний струм піна 3V3	150 мА
Максимальний вихідний струм піна 5V	1 А

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Фірман М.С.								
Керівник.		Баран І.О.								
Реценз.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІС-42		
Н. Контр.		Луцик Н.С.								
Затверд.		Осухівська Г.М								

На рис. 3.1 представлена схема електрична принципова контролера, яка використовувалася при моделюванні системи верстата з ЧПУ.

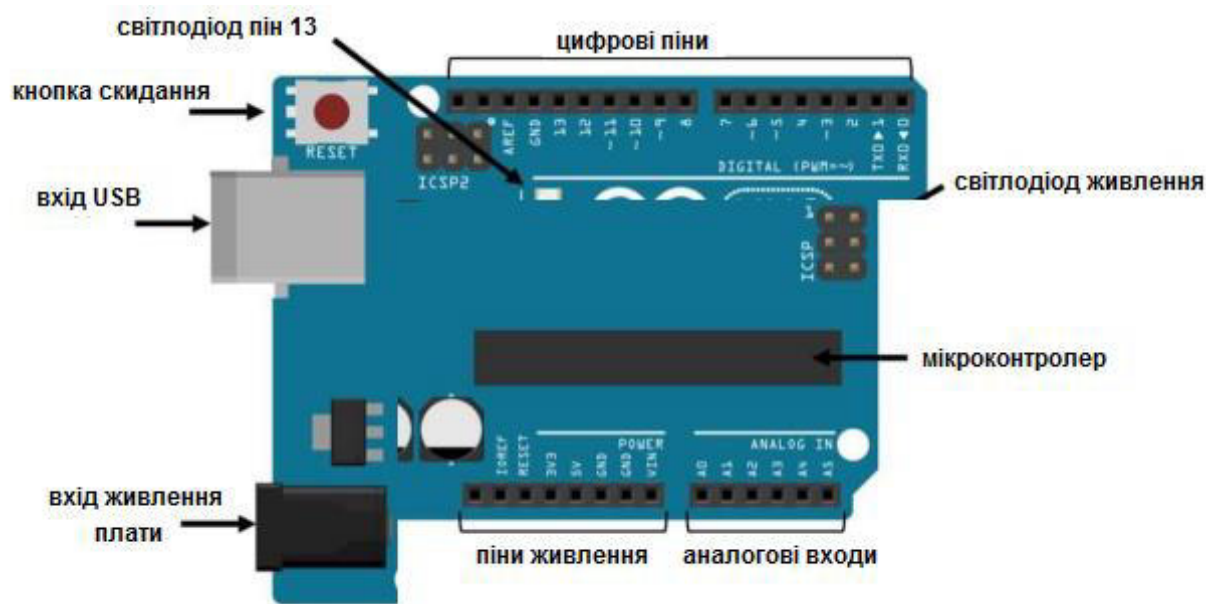


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова контролера прототипу

3.2 Приклади натурного моделювання типових вузлів системи, котра розробляється

Для роботи прототипу було взято з відкритого інтернет ресурсу та адаптовано код-програму за авторством AlexGyver [13] (Додаток Б).

Була використана бібліотека GyverStepper v2 взята з того ж інтернет ресурсу.

Бібліотека містить набір інструментів для різних сценаріїв роботи з кроковими двигунами:

- StepperCore.h [клас Stepper]: ядро решти класів, вміє швидко клацати пінами (AVR) і робити один крок для налаштованого типу драйвера. Підтримує 4 фази крок/півкрок, а також step-dir драйвери;
- GyverStepper.h [клас GStepper]: основна важка бібліотека, багато налаштувань. Рух одного мотора із прискоренням до заданої позиції або обертання із заданою швидкістю. Не дуже оптимальна робота у перериванні

таймера;

- GyverStepper2.h [клас GStepper2]: нова полегшена версія GyverStepper практично повністю з нею сумісна. Більш оптимальний цілий гібридний алгоритм руху з прискоренням, легка вага. Оптимізовано для роботи у перериванні таймера;

- GyverPlanner.h [клас GPlanner]: багатоосьовий планувальник траєкторії, рух з прискоренням (2 порядок). Зупинка у кожній точці. Оптимальна робота у перериванні таймера;

- GyverPlanner2.h [клас GPlanner2]: багатоосьовий планувальник траєкторії, рух з прискоренням (2 порядок). Планування швидкості на маршруті, оптимальний рух по точках. Оптимальна робота у перериванні таймера;

Бібліотека має два режими роботи з мотором, встановлюється за допомогою setRunMode(mode), де mode:

- FOLLOW_POS - режим плавного руху до заданої позиції з прискоренням та обмеженням швидкості;

- KEEP_SPEED - режим обертання із заданою швидкістю (знак швидкості задає напрямок обертання).

На рис. 3.2 представлено фрагмент кодо-програми прототипу системи на Arduino.

```
#define GS_NO_ACCEL
#include <GyverStepper2.h>
#define left 42
#define right 44
#define down 46
#define top 48
int i = 0;
int scale = 100;
const int maxSpeed_down = 90;
const int maxSpeed_up = 120;
GStepper2<STEPPER2WIRE> stepperX(25600, 3, 4); //3 - step, 4 - dir
GStepper2<STEPPER2WIRE> stepperY(25600, 6, 7); //6 - step, 7 - dir
```

Рисунок 3.2 - Фрагмент коду програми

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після під'єднання контролера та адаптації коду було запущено тестову програму, результати роботи якої відображені на рис. 3.3 та 3.4.

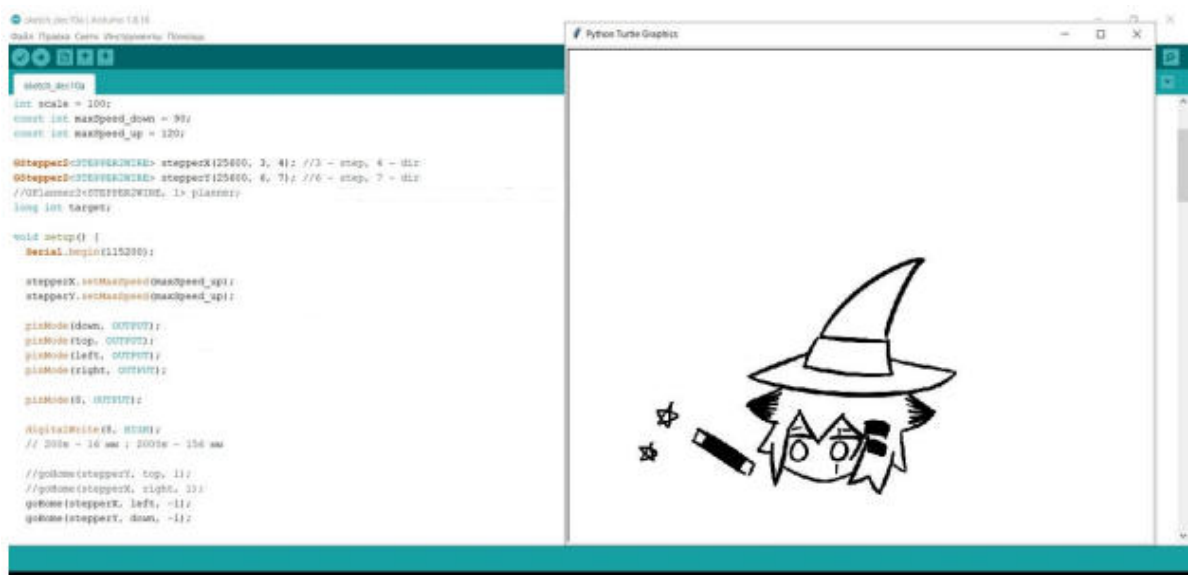


Рисунок 3.3 – Тестовий код програми на основі прототипу



Рисунок 3.4 – Результат виконання роботи

3.3 Розробка схеми електричної принципової прототипу модуля управління верстатом з ЧПУ

На підставі схеми електричної функціональної була розроблена схема

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електрична принципова прототипу модуля управління, що включає компоненти, представлені на рис. 3.5 – 3.7.

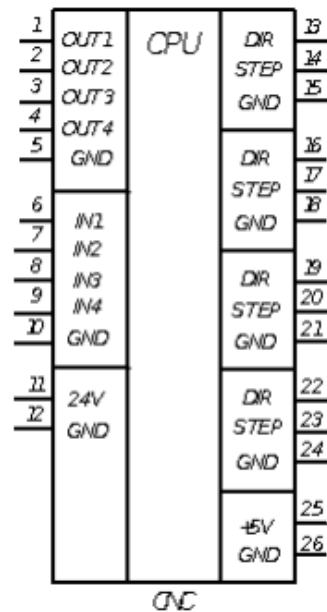


Рисунок 3.5 – Умовне графічне позначення контролера системи управління

Контролер має 4 виходи для під'єднання кінцевих вимикачів (контакти 6-10), 4 блоки DIR/STEP/GND для під'єднання до 4-х осьових двигунів (контакти 13-15 для осі X, контакти 16-18 для осі Y, контакти 19-21 для осі Z, контакти 22-24 (Контакт 25). Сам контролер працює від шини 12-24В (контакт 11).

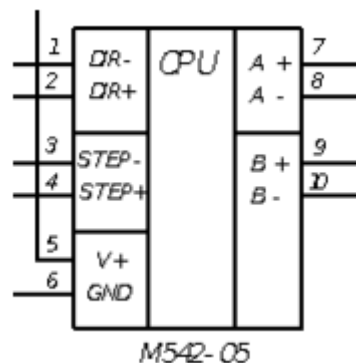


Рисунок 3.6 – Умовне графічне позначення драйвера крокового двигуна

Драйвер має 4 інформаційні входи для подачі сигналу від контролера (контакти 1-4), вхід живлення (контакти 5-6), а також 4 виходи на крокові

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

двигуни (контакти 7-10).

XPI	
A1	A
A2	B
A3	B
A4	Г

Рисунок 3.7 – Умовне графічне позначення роз'єму крокового двигуна

Кроковий двигун має 4 інформаційні входи для сигналів від драйвера (контакти А1-А4).

Схема електрична принципова прототипу модуля управління, що включає роз'єми, представлена на рис. 3.8.

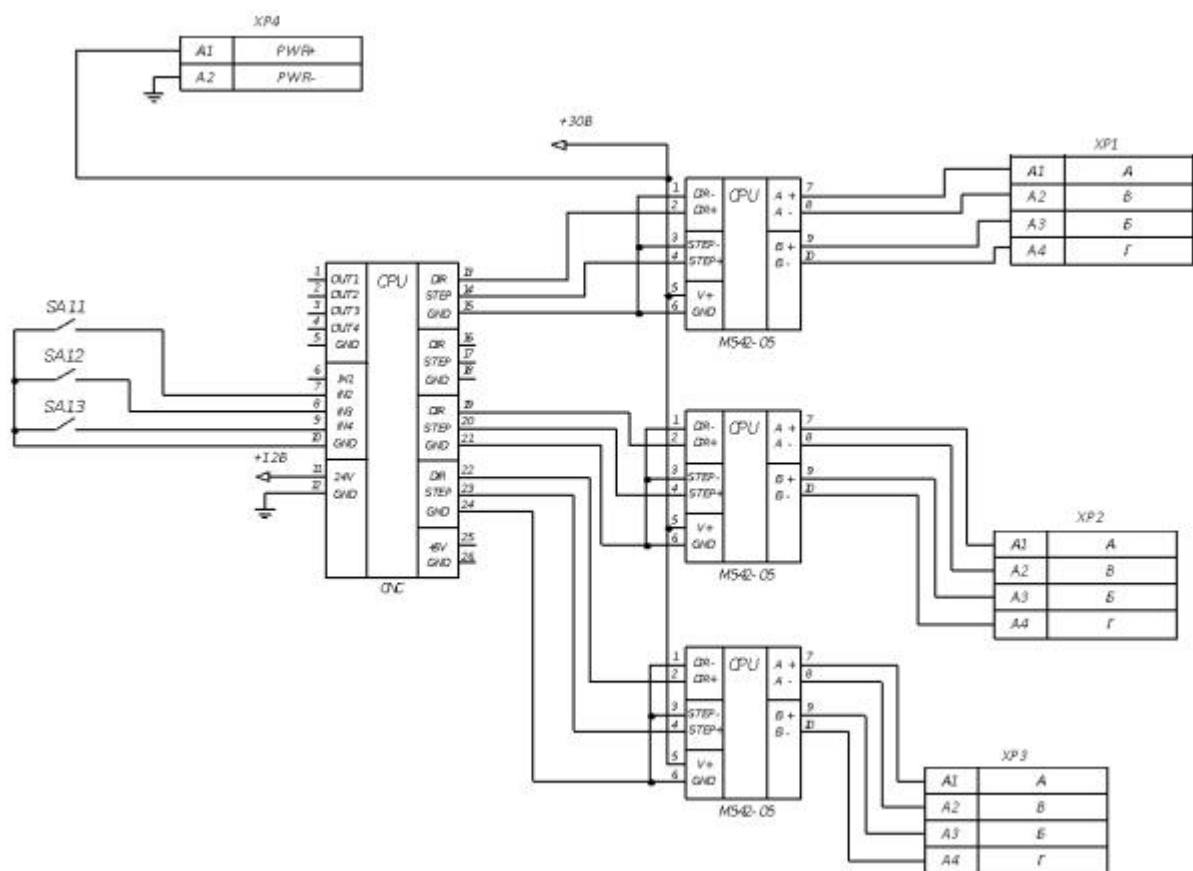


Рисунок 3.8 – Схема електрична принципова прототипу модуля управління

3.4 Розробка ПЗ системи управління верстатом з ЧПУ на основі промислового контролера

3.4.1 Створення алгоритму функціонування системи керування

Алгоритм роботи системи управління був розроблений для досягнення максимальної ефективності та продуктивності системи [14, 15].

Блок-схему алгоритму функціонування системи керування показано на рис. 3.9.

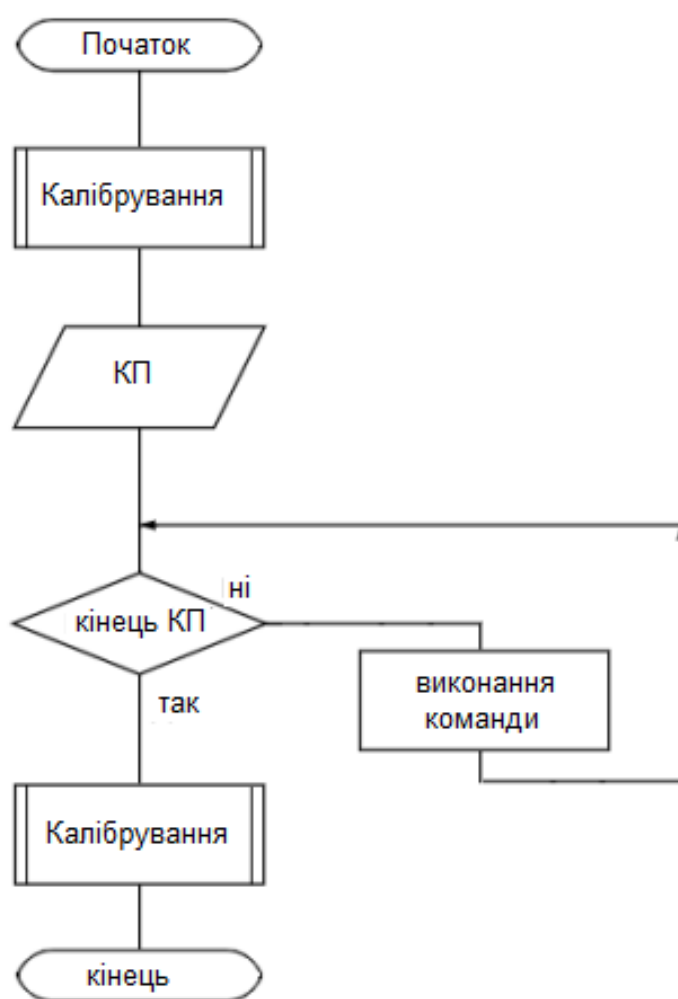


Рисунок 3.9 – Загальний алгоритм функціонування системи управління

Наведемо опис його функціонування:

- після подачі напруги живлення, відбувається початкове калібрування, при успішному виконанні якого верстат переходить у стан готовності;

- в режимі готовності контролер приймає керуючу команду і приступає до виконання програми;
- після виконання поточної команди виконується така команда;
- якщо отримана команда завершення, то контролер відключає шпиндель і виконує автоматичне калібрування для переходу в режим готовності або відключення живлення, інакше виконується команда.

Алгоритм функції калібрування наведено на рис. 3.10.

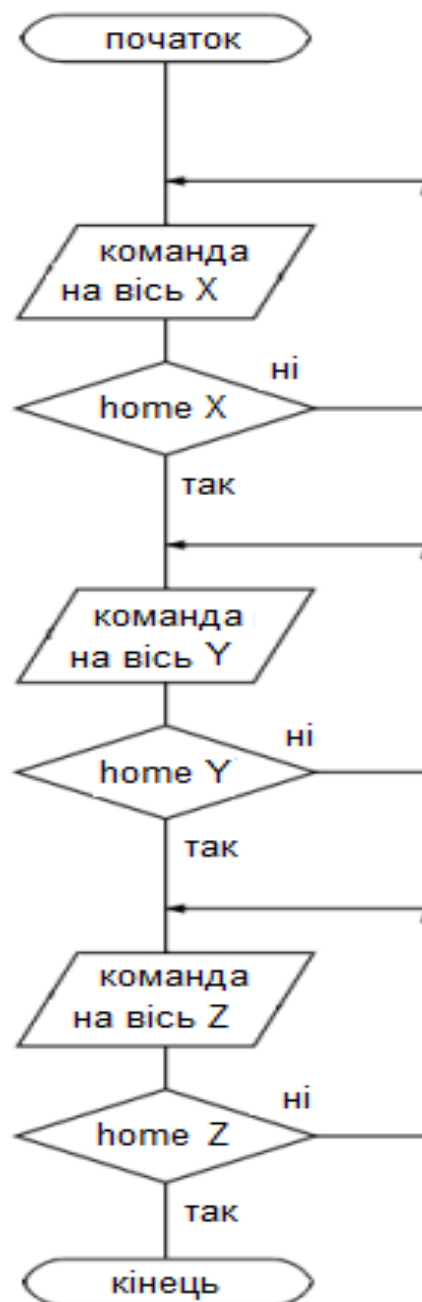


Рисунок 3.10 – Алгоритм калібрування

Опис його роботи такий:

- на початку калібрування на драйвер двигуна осі X подаються сигнали для пересування шпинделя в положення з координатою $X = 0$ постійно опитуючи давач положення осі X;
- далі аналогічна операція проводиться з віссю Y та з віссю Z, результатом якої стане положення шпинделя на початку координат;
- закінчення калібрування - перехід верстата до стану готовності.

Варто відзначити, що під час виконання будь-якої з операцій відстежуються стани давачів крайнього положення шпинделя і якщо з'явиться сигнал від одного з них, виконання поточної та наступних команд призупиниться і в комп'ютер буде відправлено повідомлення про виникнення аварійної ситуації.

3.4.2 Приклад програмного коду

G-code - умовне найменування мови програмування пристроїв із ЧПУ. Було створено компанією на старті 1960-х років. Фінальне доопрацювання було завершено у лютому 1980 і прийнято стандартом RS274D.

Виробники систем для верстатів з ЧПУ, зазвичай, застосовують ПЗ, для котрого була створена програма обробки, яка представляє готові вказівки управління. Короткий опис команд наведено нижче в табл. 3.2.

Програма, котра створена із застосуванням G-коду, володіє жорсткою будовою. Всі вказівки керування з'єднуються по кадрово. Такі групи можуть містити одну чи більше команд. Кадр фіналізується спеціальним CR/LF-символом, що значить перевід рядка та володіє номером, окрім початкового кадру програми і коментарію. Початковий кадр (а у окремих випадках ще і фінальний) має тільки єдиний знак "%". Закінчується код програми вказівкою M02 або M30. За потреби присутності коментарів до програми, їх розміщують у звичайних дужках.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Опис команд G-code

Коди	Опис
G00-G03	Позиціонування інструменту
G17-G19	Перемикання робочих площин (XY, ZX, YZ)
G20-G21	Не стандартизовано
G40-G44	Компенсація розміру різних частин інструменту (довжина, діаметр)
G53-G59	Перемикання систем координат
G80-G85	Цикли свердління, розточування, нарізування різьби
G90-G91	Перемикання систем координат (абсолютна, відносна)

Послідовність команд у кадрі не є чітко обумовленою, проте, як правило, вважається, що найпершими задаються команди для підготовки (як варіант, вибір площини роботи), а вже наступними записуються команди переміщення, у подальшому вибір режимів обробки і технологічні команди.

Максимальна кількість елементарних команд та завдань координат в одному кадрі залежить від конкретного інтерпретатора мови керування верстатами, але для більшості популярних інтерпретаторів (стійок керування) не перевищує 6.

Координати вказуються заданням осі із подальшим числовим значенням їх величини. Ціла та дробова властиво частини числа координати відділені десятковою крапкою. Допускається опускання несуттєвих нулів, або їх додавання. На додачу для переважного числа інтерпретаторів є допустимим не вказувати десяткову крапку до цілих чисел. Для прикладу, Y0.8 та Y.8, Y44, Y44. та Y044.0.

Інтерпретатор коду (стійка керування) верстатом запам'ятовує значення введених параметрів і налаштувань до їх зміни черговою модальною командою

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або скасування раніше введеної модальної команди, тому необов'язково вказівки в кожному кадрі, наприклад швидкості переміщення інструменту.

На рис. 3.11 представлений керуючий код програма для вирізання кола на верстаті.

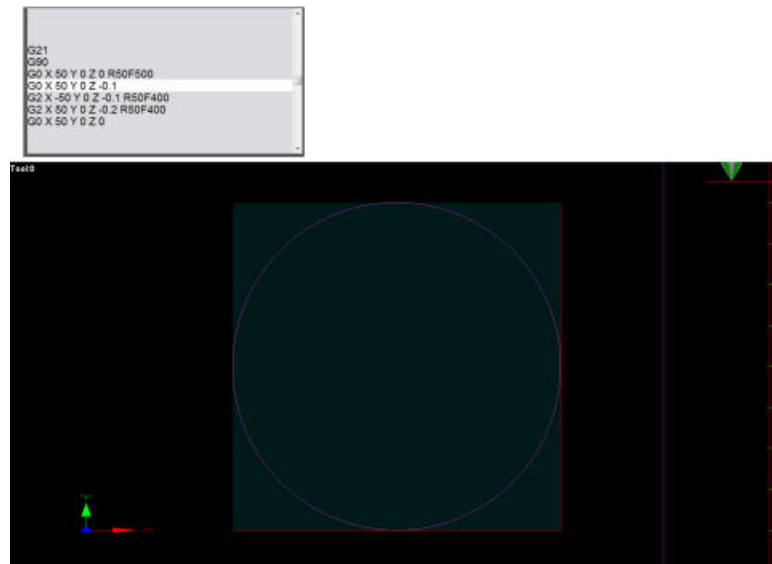


Рисунок 3.11 – Код програми для вирізування кола

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час.

Працездатність людини залежить як від зовнішніх чинників, так і від внутрішнього стану (внутрішні чинники). До зовнішніх чинників належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаємостосунків в колективі, вплив чинників середовища існування. До внутрішніх чинників належать: рівень підготовки, тренованість людини та її емоційна стійкість [21].

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни). Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [21].

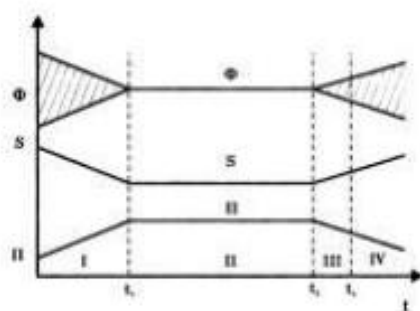


Рисунок 4.1 – Фази працездатності

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Фірман М.С.											
Керівник.		Баран І.О.											
Реценз.									ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-42				
Н. Контр.		Луцик Н.С.											
Затверд.		Осухівська Г.М											

Тут Φ – показник функціонального стану;

Б – помилки роботи;

П – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ($t_1 - t_2$) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити [21]:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);

– інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період [22]. Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ($t_2 - t_3$) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але тільки за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Рациональний режим праці та відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на персональному комп'ютері і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, виду трудової діяльності. Для попередження передчасної стомлюваності операторів ПК рекомендується організовувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням персонального комп'ютера і без нього [22].

При виникненні у працюючих з ПК зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, незважаючи на дотримання

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

санітарногігієнічних і ергономічних вимог, рекомендується застосовувати індивідуальний підхід з обмеженням часу роботи з ПК.

У випадках, коли характер роботи вимагає постійної взаємодії з ВДТ (набір текстів або введення даних тощо) з напругою уваги та зосередженості, при виключенні можливості періодичного перемикання на інші види трудової діяльності, не пов'язані з ПК, рекомендується організація перерв на 10 -15 хвилин через кожні 45-60 хвилин роботи. Тривалість безперервної роботи з ВДТ без регламентованого перерви не повинна перевищувати однієї години.

Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	50	80
II	70	110
III	90	140

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК

Для збереження працездатності й попередження розвитку захворювань опорно-рухового апарату операторів ПК необхідно організувати для них робочі місця, що відповідають вимогам ДСТУ. Виконання цих вимог показані на рис.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 і приведено конструктивні особливості встановлюваних робочих столів і стільців, що забезпечують можливість індивідуального регулювання відповідно росту працюючих і створення для них зручної пози [22].

При правильній організації робочого місця продуктивність праці оператора зростає на 8 – 20%. Відповідно до ДСТУ конструкція робочого місця й розташування всіх його елементів повинна відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи й переміщення;
- необхідно природне й штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

Головними елементами робочого місця оператора є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення оператора ПК. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці й документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле – простір робочого місця, у якому можуть здійснюватися рухові дії людини [22].

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі. Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя й з відносно нерухомим плечем. Зони досяжності рук у горизонтальній площині зображено на рис. 4.2.

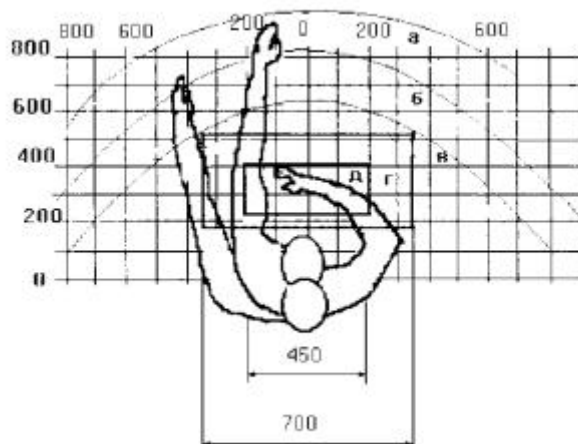


Рисунок 4.2 – Зони досяжності рук у горизонтальній площині

а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці й документації в зонах досяжності рук [22]:

- монітор розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блок розміщується в зоні б (ліворуч);
- принтер перебуває в зоні а (праворуч);
- документація - у зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література й документація, необхідна при роботі;
- висота стола повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності опираючись на підлокітники;
- нижня частина стола повинна бути сконструйована так, щоб користувач ПК міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;

– поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору користувача;

– конструкція стола повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менш 3 для зберігання документації, літератури, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються наступні параметри робочого простору: ширина - не менш 700мм; глибина - не менш 400мм; висота робочої поверхні стола над підлогою 700-750мм. Оптимальними розмірами стола є: висота 710мм; довжина стола 1300мм; ширина стола 650мм.

Під робочою поверхнею має бути передбачений простір для ніг: висота - не менш 600мм; ширина - не менш 500мм; глибина - не менш 400мм.

Важливим елементом робочого місця оператора ПК є крісло. При проектуванні крісла виходять із того, що при будь-якому робочому положенні оператора його поза повинна бути фізіологічно правильною, тобто положення частин тіла повинне бути оптимальним.

Для задоволення вимог фізіології, що впливають із аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна задовольняти наступним основним вимогам:

– допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечувати вільне переміщення корпусу й кінцівок тіла;

– допускати регулювання висоти залежно від росту працюючої людини (у межах від 400 до 550мм);

– радіус кривизни в горизонтальній площині 400мм;

– кут нахилу спинки повинен змінюватися в межах 90-110° до площини сидіння.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час написання кваліфікаційної роботи було вирішено всі завдання, передбачені завданням на роботу.

Було проаналізовано вітчизняні та зарубіжні системи управління верстатами з ЧПУ серійного виробництва та ПЗ до них. Для знаходження оптимального варіанта були розглянуті їх позитивні та негативні сторони.

Було розроблено структурну інформаційну модель процесу управління, схеми електричні функціональна та принципова прототипу модуля управління.

Було проведено аналіз та забезпечено вибір компонентів програмного та апаратного забезпечення.

Результатом виконання роботи є система керування верстатом із ЧПУ на мікроконтролерній основі.

Розроблена система управління надалі використовуватиметься для вдосконалення навчального процесу.

Верхній рівень системи управління працює на найпоширенішій ОС Windows.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнєцов Ю.М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник/Ю.М. Кузнєцов, О.Ф. Саленко, О.О.Харченко, В.Т. Щетинін.-Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014.–500 с
2. ЧПУ станок CNC 3018 PRO. URL: https://uamper.com/чпу-станок-cnc-3018-гравер-лазер?srsltid=AfmBOorm-BMO_DoOybZ0cOczip8PQZ0agOW_czrB9AMHJCVCJk1ayeY1/ (дата звертання: 16.04.2025).
3. CCD/MTC. URL: <https://www.bungard.de/en/machines/cnc-machines/ccd-mtc> (дата звертання: 16.04.2025).
4. Aspire. URL: <https://www.vectric.com/products/aspire/> (дата звертання: 16.04.2025).
5. eCam. Easy CNC Programming system. URL: <https://www.e-cam.it/> (дата звертання: 16.04.2025).
6. HeeksCNC. URL: <https://sites.google.com/site/heckscad/home> (дата звертання: 16.04.2025).
7. Mach3. URL: <https://www.machsupport.com/software/mach3/> (дата звертання: 16.04.2025).
8. Інтерфейсна плата BSMCE04U-USB MACH-3. URL: <https://cnc-market.in.ua/products/12465444> (дата звертання: 19.04.2025).
9. Драйвер DM542-05 Leadshine. URL: <https://cnc-market.in.ua/products/24591788> (дата звертання: 19.04.2025).
10. Кроковий двигун ДШИ-200. URL: <https://retro-if.com.ua/product/krokovij-dvigun-dshi-200-3-3-elektrodvigun-motor/> (дата звертання: 20.04.2025).
11. Кроковий двигун NEMA 17 17HS440. URL: mini-tech.com.ua/ua/17hs4401-nema17-shagoviy-motor (дата звертання: 20.04.2025).
12. Arduino Uno Rev3. URL: <https://arduino.ua/prod676-arduino-uno-rev3?srsltid=AfmBOoou7MTqMdQlM-qoemKXkpT-GFz243dAaPJZqfqKLTtrs7JRlrzw> (дата звертання: 20.04.2025)

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

13. AlexGyver бібліотека Arduino Uno для ЧПУ верстатів. URL: <https://alexgyver.com/gyverstepper/> (дата звертання: 26.04.2025)

14. Осухівська Г. М., Тиш Є. В., Луцик Н. С., Паламар А. М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2022. 28 с.

15. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

16. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.

17. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

18. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

19. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

20. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovsky R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.

21. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

22. Основи охорони праці: Підручник.; 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

					КС КРБ 123.261.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СВЕРДЛИЛЬНО-
ФРЕЗЕРНИМ ТРЬОХОСЬОВИМ ВЕРСТАТОМ**

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на _8_ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

« ____ » _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІс-42

_____ Фірман М. С.

« ____ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.261.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Фірман Максим Сергійович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 20.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом призначена для забезпечення ЧПУ верстатом.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи зумовлена тим, що вона забезпечує розробку та використання апаратно-програмних засобів як основи систем управління електромеханічними агрегатами, такими як верстати з ЧПУ, на рівні мікроконтролерів.

2.2 Мета створення системи

Основна мета розробки комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом полягає у проектуванні та створенні системи керування верстатом з ЧПУ на мікроконтролерній основі.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати завдання на кваліфікаційну роботу та обґрунтувати вибір прийнятого рішення;
- розробити систему управління трьохосьовим верстатом з ЧПУ;
- провести моделювання функціональних вузлів розробленої системи управління на натурних макетах;
- розробити ПЗ системи управління ЧПУ на основі промислового контролера.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Передбачається розробити прототип системи керування верстатом з ЧПУ. Основні функції, що вимагають реалізації в комп'ютеризованій системі керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом, що розробляється:

- плавний рух до заданої позиції з прискоренням та обмеженням швидкості;
- обертання із заданою швидкістю;
- відстеження стану датчиків крайнього положення шпинделя;
- калібрування верстату;
- автоматичне регулювання швидкості обертання за заданими даними.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути спроектована так, щоб до її складу без особливих зусиль можна інтегрувати різні елементи управління, а також нові пристрої, не порушуючи при цьому структуру системи.

У проєктованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- інтеграція з іншими виробниками пристроїв;
- точність детектування крайнього положення шпинделя;
- продуктивність роботи програмного забезпечення;
- повністю реконфігурований інтерфейс;
- часова ефективність.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система управління розбивається на два рівні: верхній рівень, що складається зі стандартного ПК на системі Windows не нижче 7 версії з встановленим спеціалізованим ПЗ, і пов'язаний за інтерфейсом USB з мікроконтролером інтегрований до складу верстата з ЧПУ і нижній рівень, реалізований на

програмованому контролері, котрий забезпечує функції керування кроковими двигунами по осях X, Y та Z.

До структури та функціонування комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом входять набір кінцевих давачів, пов'язаних з портами контролера, набір драйверів (формуваців), пов'язаних з вихідними портами контролера та шинами керування кроковими двигунами.

В цілому, концептуальна модель комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом повинна описувати предметну область.

Для прийому та обробки даних використовується мікроконтролер.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Пропоноване рішення застосовує USB для зв'язку між ПК та контролером.

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом є можливість подальшого розширення функціоналу контролера за допомогою під'єднання додаткових пристроїв системи керування та забезпечення повноекранного інтерфейсу користувача.

Існуюча апаратна складова системи при цьому не повинна зазнавати значних змін, а програмне забезпечення системи повинно передбачати гнучкість та здатність до масштабування.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютеризована система керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом повинна бути захищена на як на фізичному, так і на програмному рівнях. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до

апаратного забезпечення, зокрема мікроконтролера та під'єднаних до нього компонентів.

Програмний рівень захисту повинен передбачати захист від сторонніх втручань і впливів.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп'ютеризована система керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом полягають в наступному:

- можливість якісного визначення кінцевого положення шпинделя;
- передача даних від мікроконтролера;
- припинення роботи у разі виявлення несправностей;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення зручності використання програмної частини.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- удосконалений свердлильно-фрезерний трьохосьовий верстат;
- контролер В8МСБ04і;
- драйвер для крокових двигунів М542-05;
- крокові двигуни ДШИ200 (для осей X та Y) і Nema 17 (для осі Z);

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

- ОС Windows не нижче версії 7;
- пакет Mach 3 (для функціонування);
- Arduino IDE (для прототипування).

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;

– графічного матеріалу:

- 1 Огляд ПЗ для верстатів з ЧПУ.
- 2 Структура системи управління верстатом, що розробляється.
- 3 Функціональна схема системи керування.
- 4 Схема контролера прототипу
- 5 Загальний алгоритм функціонування системи управління

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютеризованої системи керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим верстатом повинна становити не більше 4 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	27.01 – 30.01
2.	Розробка технічного завдання	31.01 – 05.02
3.	Підбір джерел про системи керування верстатами з	
4.	ЧПУ	06.02 – 26.02
5.	Опрацювання літературних джерел	27.02 – 18.03
6.	Виконання дослідження щодо розробки системи	
7.	керування свердлильно-фрезерним трьохосьовим	
8.	верстатом	19.03 – 16.04
9.	Написання програмного коду	17.04 – 28.04
10.	Оформлення розділу «Аналіз предметної області»	29.04 – 02.05
11.	Оформлення розділу «Проектна частина»	03.05 – 14.05
12.	Оформлення розділу «Практична частина»	15.05 – 25.05
13.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека	
14.	життєдіяльності, основи охорони праці»	26.05 – 31.05
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.06 – 11.06

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Код-програма прототипа системи керування на Arduino

```

#define GS_NO_ACCEL
#include <GyverStepper2.h>

#define left 42
#define right 44

#define down 46
#define top 48
int i = 0;
int scale = 100;
const int maxSpeed_down = 90;
const int maxSpeed_up = 120;

GStepper2<STEPPER2WIRE> stepperX(25600, 3, 4); //3 - step, 4 - dir
GStepper2<STEPPER2WIRE> stepperY(25600, 6, 7); //6 - step, 7 - dir
//GPlanner2<STEPPER2WIRE, 1> planner; //Проводи кінцевиків:
чорний - Y down; зелений - Y top
long int target;

void setup() {
Serial.begin(115200);

stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_up); // Швидкість руху до мети
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_up);

pinMode(down, OUTPUT); //Кінцевик під час руху назад
pinMode(top, OUTPUT); // Вперед
pinMode(left, OUTPUT); pinMode(right, OUTPUT);
pinMode(8, OUTPUT); //соленоїд

digitalWrite(8, HIGH);
// 200к - 16 мм ; 2000к - 156 мм
//goHome(stepperY, top, 1);
//goHome(stepperX, right, 1);
goHome(stepperX, left, -1);
goHome(stepperY, down, -1);

```

```

bool dril = false;
int x;
int y;
Serial. setTimeout(-1);
//Serial.write('s');
for(String c = Serial.readStringUntil(';'); c != "0"; c =
Serial.readStringUntil(';'))
{ //Serial.println(c); if(c[0] == M')
{
String str = c. substring (2);
String xstr = "";
String ystr = "";
for(int i = 0; i < str.indexOf(' '); i++) xstr += str[i];
for(int i = str.indexOf(' ') + 1; i < str.length(); i++)
ystr += str[i]; x = xstr.toInt();
y = ystr.toInt(); if(dril) goTo1(x, y); else goTo0(x, y);
Serial.write('o');
}
else if(c == "U"){ dril = false;

digitalWrite(8, HIGH); Serial.write('o');
}
else if(c == "D"){ dril = true;
digitalWrite(8, LOW); Serial.write('o');
}
else if(c.startsWith("scale")){
String str = c. substring (6); scale = str.toInt();
Serial.write('o');
}
}

Serial.println("EXIT") ; digitalWrite(8, HIGH);
goHome(stepperY, top, 1); goHome(stepperX, right, 1);
}

void goTo0 (long long x, long long y) {
stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_up);
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_up); stepperX.setT arget(x*

```

```

scale, RELATIVE); stepperY.setTarget(y* scale, RELATIVE);
while(stepperY.tick() + stepperX.tick()){
}
}

void f(int * x, int * y) { float orig = * x / float (* y); int
kx = 1; int ky = 1;
for(int i = 1; i < 99; i ++) for(int j = i + 1; j < 99; j ++)
if (abs(orig - i/float(j)) < abs(orig - kx / float(ky))) { kx
= i; ky = j;
}
* x = kx;
* y = ky;
}

void goTo2 (long long x, long long y) {int kx = abs (x); int
ky = abs(y); if(abs(x) > abs(y)){ f(&ky,&kx);
stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
stepperY.setMaxSpeed(ky/float(kx) * maxSpeed_down);
}
else if(abs(x) < abs(y)){ f(&kx,&ky);
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
stepperX.setMaxSpeed(kx/float(ky) * maxSpeed_down);
}
else {
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_down); kx = 1; ky = 1;
}
stepperX.setTarget(x * scale, RELATIVE); stepperY.setTarget(y
* scale, RELATIVE); while(stepperX.tick() + stepperY.tick()){
}
}

void goTo1 (long long x, long long y) {double kx = abs (x);
double ky = abs(y); double k;
if(abs(x) > abs(y)){k = ky/kx;
stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_down);

```

```

stepperY.setMaxSpeed(float(k * maxSpeed_down));
}
else if(abs(x) < abs( y )){
Serial.print( M FUCKYOU M );
k = kx/ky;
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
stepperX.setMaxSpeed(float(k * maxSpeed_down));
}
else {
stepperY.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
stepperX.setMaxSpeed(maxSpeed_down);
}
stepperX.setTarget(x * scale, RELATIVE); stepperY.setTarget(y
* scale, RELATIVE); while(stepperX.tick() + stepperY.tick()){
}

void goHome(GStepper2<STEPPER2WIRE> &stepper, int end, int
dir){ stepper.setSpeed(dir*maxSpeed_up); for(bool x = false;
!x;){ if(digitalRead(end) == 1){
// stepper. setSpeed(0); stepper.brake(); stepper.reset();
return;
}
stepper.tick();
}
}

void loop() {
}

```