

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

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

на тему Розроблення пульта числового програмного керування  
верстата 16K20

Виконав: здобувач вищої освіти  
3 курсу, групи Сінж 2023-1у  
напряму підготовки (спеціальності)  
**174 «Автоматизація, комп'ютерно-**  
**інтегровані технології та**  
**робототехніка»**

Левіна А. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Комбаров В.В. к.т.н.,  
старший дослідник

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

Рецензент к.т.н., Ківіренко О. Б.

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

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

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

 **БАРАНОВ О. О.**

« 19 » червня 2026 року

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

Левіна Анна Сергіївна

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

1. Тема роботи «Розроблення пульта числового програмного керування верстата 16K20»

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

Керівник роботи Комбаров Володимир Вікторович, канд. техн. Наук, старший дослідник

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

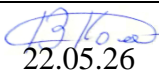

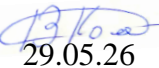

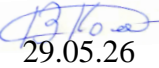

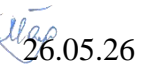

2. Строк подання роботи здобувачем вищої освіти «15» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи рекомендації щодо автоматизації керування токарним обладнанням за допомогою систем ЧПК, перелік функціональних вимог до пульта ЧПК та загальний опис структури системи керування, індивідуальне завдання на розробку.

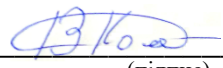
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз сучасних технологій та підходів до створення конструкції та функціональності пульта ЧПК, опис моделювання конструкції пульта із застосуванням SolidWorks, розробка алгоритмів та програмного забезпечення для керування процесом увімкнення/вимкнення устаткування, охорона праці, висновки, перелік використаних джерел, додатки.

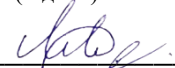
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

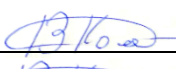
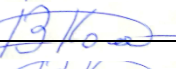
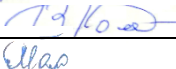

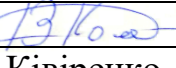
Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Комбаров В.В. к.т.н., старший дослідник	 22.05.26	 22.05.26
Проектування пульта керування ЧПК	Комбаров В.В. к.т.н., старший дослідник	 29.05.26	 29.05.26
Розробка алгоритмів та програмного забезпечення	Комбаров В.В. к.т.н., старший дослідник	 29.05.26	 29.05.26
Охорона праці в галузі	Малишева В.В., доц. кафедра ОПтаБЖ	 26.05.26	 26.05.26

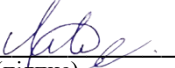
7. Дата видачі завдання «22» **травня 2026 р.**

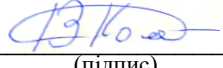
Керівник \_\_\_\_\_  Комбаров В.В.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  Левіна А. С.  
(підпис)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Виконання 1 розділу	01.06.2026	
2	Виконання 2 розділу	08.06.2026	
3	Виконання 3 розділу	15.06.2026	
4	Виконання 4 розділу «Охорона праці»	15.06.2026	
5	Нормоконтроль	17.06.2026	
6	Рецензування	19.06.2026	Ківіренко О.Б.
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Державної екзаменаційної комісії	26.06.2026	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  Левіна А. С.  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_  Комбаров В.В.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Розроблення пульта числового програмного керування верстата 16K20 – Левіна Анна Сергіївна, дипломна робота бакалавра, Харків, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кількість сторінок 90, кількість таблиць 5, кількість рисунків 37, кількість джерел літератури 38.

Дипломна робота присвячена розробці пульта системи ЧПК токарного верстата. У рамках роботи виконано проектування конструкції пульта в середовищі 3-вимірного моделювання SolidWorks. Розроблено компоновання розміщення компонентів пульта у внутрішньому просторі пристрою, спроектовано 3D-модель конструкції. Розроблено дизайн і конструкцію панелей керування увімкненням/вимкненням ЧПК і верстата, а також функціональну панель керування верстатом. Розроблено алгоритми та програмне забезпечення для керування елементами електроавтоматики обладнання на прикладі системи живлення верстата. Результати розробки використано при модернізації токарного верстата 16K20 на ТОВ «Альфа Композит».

МЕТОЮ кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення ефективності автоматизованого обладнання з ЧПК шляхом розробки конструкції пульта числового програмного керування токарного верстата 16K20 у середовищі тривимірного моделювання SolidWorks, а також розробки та апробації алгоритмів і спеціалізованого програмного забезпечення для керування елементами електроавтоматики в системі ЧПК.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: система керування токарного верстата 16K20 з числовим програмним керуванням.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: конструкція пульта ЧПК, методи його компоновки та програмно-алгоритмічне забезпечення керування елементами електроавтоматики в системі ЧПК токарного верстата.

**ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:** провести аналіз існуючих аналогів систем ЧПК та сучасних пультів керування; виконати проектування конструкції та створення 3D- моделі пульта оператора; дослідити архітектуру апаратного й програмного забезпечення системи; виконати розробку алгоритму та програмного забезпечення керування блоком живлення верстата.

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ:** аналіз технічної літератури, методи 3D- моделювання, методи структурного та функціонального аналізу програмного забезпечення та методи експериментального дослідження програмних систем.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА, ПРОГРАМА, ПУЛЬТ, ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ, ЧПК.

## ABSTRACT

Development of a Numerical Control Panel for the 16K20 Machine Tool - Levina Anna Sergeevna, Bachelor's Thesis, Kharkiv, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, number of pages 90, number of tables 5, number of figures 37, number of references 38.

This thesis is devoted to the development of a CNC control panel for a turning machine. As part of this work, the control panel was designed using the SolidWorks 3D modeling environment. A layout for the placement of the control panel components within the device was developed, and a 3D model of the design was created. The design and structure of the control panels for turning the CNC system and the machine on/off, as well as the functional machine control panel, were developed. Algorithms and software for controlling the equipment's electrical automation components were developed, using the machine's power supply system as an example. The results of this development were used in the modernization of the 16K20 machine tool at the Alpha Composite LLC enterprise.

THE AIM OF THE THESIS is to improve the efficiency of CNC-controlled automated equipment by designing a numerical control panel for the 16K20 turning machine using the SolidWorks 3D CAD System, as well as developing and testing algorithms and specialized software for controlling the electrical automation components in the CNC system.

OBJECT OF STUDY: Control system for the 16K20 CNC turning machine.

SUBJECT OF STUDY: The design of a CNC control panel, methods for its layout, and the software and algorithms used to control the electrical automation components in the CNC system of a turning machine.

OBJECTIVES: to analyze existing CNC systems and modern control panels; to design and create a 3D model of the operator panel; to investigate the system's hardware and software architecture; to develop an algorithm and software for controlling the machine tool's power supply unit.

**RESEARCH METHODS:** analysis of technical literature, 3D modeling methods, methods of structural and functional analysis of software, and methods of experimental research on software systems.

**KEY WORDS:** CONTROL, SYSTEM, PROGRAM, CONTROL PANEL, TURNING MACHINE, CNC.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ЧПК — числове програмне керування
- СЧПК — система числового програмного керування
- СКВ — система координат верстата
- СКД — система координат деталі
- ПЗ — програмне забезпечення
- CAD — система автоматизованого проєктування
- CAM — система автоматизованої підготовки керуючих програм
- CNC — Computer Numerical Control
- 3D — тривимірна модель
- M3 — команда ввімкнення обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
- M4 — команда ввімкнення обертання шпинделя проти годинникової стрілки
- M6 — команда зміни інструмента
- M08 — команда ввімкнення системи охолодження
- M09 — команда вимкнення системи охолодження
- SB — кнопковий перемикач (кнопка керування)
- SA — перемикач або ключ керування
- HL — світловий індикатор
- XP — дисплей або панель індикації
- КЗпП — Кодекс законів про працю України
- ДСТУ — державний стандарт України

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПУЛЬТІВ ЧПК ТОКАРНОГО ОБЛАДНАННЯ .....	13
<b>1.1 Структура систем числового програмного керування токарних верстатів.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Аналіз конструкцій пультів керування сучасних систем ЧПК токарних верстатів.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Аналіз систем автоматичної зміни інструмента .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Висновки до розділу 1.....</b>	<b>19</b>
2. ПРОЄКТУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ПУЛЬТА КЕРУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS .....	20
<b>2.1 Постановка задачі проєктування та розроблення компонування пульта керування .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Побудова 3D-моделі корпусу пульта .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1 Моделювання панелі керування увімкненням системи .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2 Моделювання панелі керування верстатом .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3 Розроблення складальної моделі пульта .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3 Виготовлення корпусу пульта керування ЧПК .....</b>	<b>50</b>
3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА АПРОБАЦІЯ АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ВЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ «БЛОК ЖИВЛЕННЯ» .....	52
<b>3.1 Розробка структури системи керування логічними автоматами верстата 16К20.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2 Розробка алгоритму та програмного забезпечення для керування логічним автоматом пристрою «Блок живлення».....</b>	<b>57</b>
<b>3.3 Тестування алгоритмів та програмного забезпечення.....</b>	<b>62</b>
<b>3.4 Висновки до розділу 3.....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	65
<b>4.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.1. Механічні небезпеки .....</b>	<b>69</b>

<b>4.2.2. Електричні небезпеки.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.3. Теплові небезпеки .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.4. Хімічні небезпеки .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.5. Шумове навантаження.....</b>	<b>71</b>
<b>4.2.2.6 Пожежна небезпека .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2.2.7 Воєнні та надзвичайні ризики .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4 Висновки .....</b>	<b>74</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>76</b>
<b>Додаток А Код керуючої програми обробки гвинтової поверхні.....</b>	<b>81</b>

## ВСТУП

### **Актуальність теми дослідження.**

Розвиток сучасних підприємств машинобудування характеризується широким застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) для забезпечення автоматизації технологічних процесів та підвищення стабільності виробництва й якості продукції. Значна кількість токарних верстатів типу 16К20, що експлуатуються на підприємствах, мають достатній механічний ресурс, проте їхні системи керування фізично та морально застаріли і не відповідають вимогам автоматизації сучасного виробництва.

Модернізація токарних верстатів шляхом розробки та впровадження нових пультів ЧПК дозволяє значно розширити функціональні можливості обладнання без необхідності повної заміни верстатного парку. Створення ергономічних пультів управління з сучасними засобами індикації та керування дозволяє спростити та значно пришвидшити процес налагодження обладнання, що надзвичайно важливо для сучасного стану виробництва в Україні. Застосування сучасних систем тривимірного моделювання типу SolidWorks при проектуванні елементів автоматизації та пультів обладнання з ЧПК дозволяє на етапі проектування всебічно врахувати конструктивні, функціональні та ергономічні вимоги до обладнання, яке створюється.

Токарне обладнання з ЧПУ оснащено револьверною головкою, що забезпечує автоматизацію заміни інструменту. Забезпечення зручності керування заміною інструменту під час налагодження обладнання безпосередньо впливає на продуктивність та ефективність його експлуатації. Розробка алгоритму та спеціалізованого програмного забезпечення для управління процесом зміни інструменту спрямована на забезпечення вимог ергономічності та ефективності експлуатації обладнання.

У зв'язку з цим тема розробки пульта числового програмного керування для токарного верстата 16К20 є актуальною та має практичне значення для модернізації металообробного обладнання.

**Мета дослідження** – Метою дипломної роботи є розробка конструкції пульта числового програмного керування токарного верстата 16К20 шляхом створення його тривимірної моделі в середовищі SolidWorks, а також розробка та апробація алгоритмів і спеціалізованого програмного забезпечення для керування автоматичною заміною інструменту в системі ЧПК.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Провести аналіз конструкцій та функціональних можливостей сучасних пультів ЧПК токарного обладнання
2. Провести аналіз систем та принципів керування процесом автоматичної заміни інструменту.
3. Сформулювати технічні вимоги до пульта ЧПУ верстата 16K20.
4. Розробити тривимірну модель пульта керування в середовищі SolidWorks.
5. Розробити алгоритми та програмне забезпечення для керування автоматичною зміною інструменту.

**Об'єкт дослідження** – система керування токарного верстата 16K20 з числовим програмним керуванням.

**Предмет дослідження** – конструкція пульта ЧПК, методи його компоновки та програмно-алгоритмічне забезпечення керування механізмом зміни інструмента токарного верстата.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

Практичне значення роботи полягає в можливості використання розробленої конструкції пульта ЧПУ для модернізації верстатів типу 16K20 та аналогічних за функціональністю токарних верстатів. Результати виконаної кваліфікаційної роботи застосовано під час модернізації обладнання на ТОВ «Альфа Композит».

# 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПУЛЬТІВ ЧПК ТОКАРНОГО ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Структура систем числового програмного керування токарних верстатів

Системи числового програмного керування є основою сучасного автоматизованого металообробного обладнання. Використання ЧПК дозволяє забезпечити високу точність позиціонування виконавчих механізмів, автоматизацію технологічних процесів та підвищення продуктивності обробки деталей складної форми. У токарних верстатах, де необхідно забезпечувати синхронізацію руху шпинделя, подачі інструменту та допоміжних механізмів, застосування систем ЧПК набуло широкого поширення. [1]. На рисунку 1.1 показано зовнішній вигляд сучасного верстата з ЧПК.

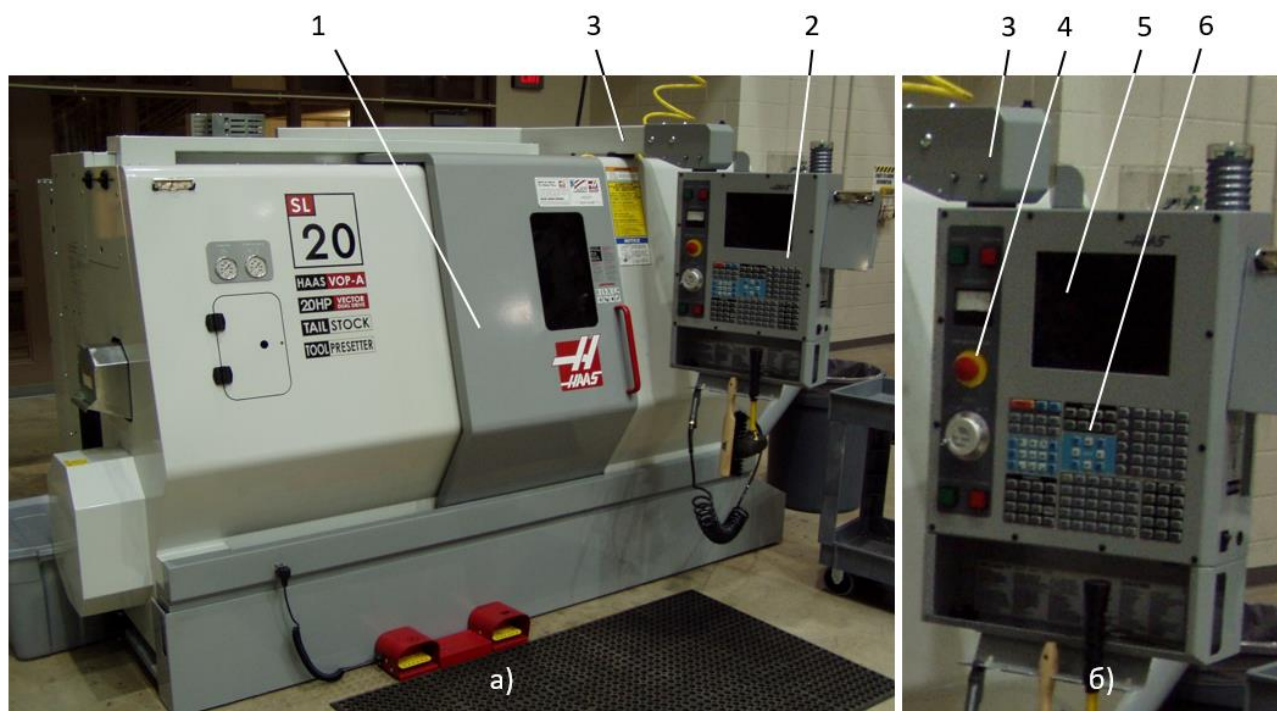


Рисунок. 1.1 - Загальний вигляд сучасного верстата з числовим програмним керуванням. [2]

До складу типової системи ЧПК входять центральний обчислювальний модуль, блоки введення та обробки інформації, система електроприводів, датчики зворотного зв'язку, пульт оператора та система керування допоміжними вузлами

верстата. Взаємодія між окремими компонентами системи забезпечує автоматичне виконання технологічних операцій відповідно до заданої програми обробки [4].

Особливістю сучасного автоматизованого обладнання є утворення закритої робочої зони, в якій розміщуються деталі, що обробляються (рисунок 1.1, п. 1). Пульти системи ЧПК (рисунок 1.1, п. 2), як правило, розміщуються на поворотному кронштейні (рисунок 1.1, п. 3), що дозволяє змінювати положення та орієнтацію пульта в просторі робочого місця обслуговування автоматизованого обладнання.

На лицьовій панелі пульта системи ЧПУ, як правило, є кілька функціональних зон. Зона розміщення органів керування увімкненням верстата (рисунок 1.1, п. 4). Іноді в цій зоні, окрім кнопок увімкнення/вимкнення ЧПУ та верстата, можуть розташовуватися додаткові органи керування верстатом, наприклад, «ручки», індикатори та кнопки скидання помилок.

Усі сучасні системи ЧПК створюються на основі використання персональних комп'ютерів або контролерів, які для відображення інформації використовують такий пристрій, як монітор. Наявність на лицьовій панелі зони для розміщення монітора є стандартним рішенням для сучасних ЧПК (рисунок 1.1, п. 5).

Конфігурація клавіатурної панелі керування системою ЧПК та режимами роботи ЧПК (рисунок 1.1, п. 6) визначає зручність роботи з обладнанням. Функціональність цієї клавіатури, як правило, є стандартною в частині керування ЧПК, аналогічно клавіатурі для керування персональним комп'ютером. Функціональність керування верстатом багато в чому залежить від моделі верстата, наявності додаткового обладнання в технологічній системі та вимагає індивідуального підходу. У деяких системах ЧПК ця частина завдання вирішується за допомогою перепрограмованих клавіатурних панелей, у яких призначення кожної кнопки налаштовується індивідуально для кожного верстата.

Основним призначенням системи числового програмного керування є перетворення керуючої програми у послідовність команд для виконавчих механізмів верстата та контроль за їх виконанням, включаючи контроль за зміною положення керованих органів верстата. Пульти систем керування можуть суттєво

відрізнятися один від одного, проте вищеописані функціональні зони можна виділити на всіх моделях ЧПК, про що свідчить зображення верстата на рисунку 1.2.



Рисунок. 1.2 - Вертикально-фрезерний верстат з числовим програмним керуванням. [3]

Проведений аналіз показав, що системи ЧПК є невід'ємною складовою сучасного металообробного обладнання. Пульт системи ЧПК є засобом взаємодії оператора з технологічною системою. Незважаючи на відмінності у конструкції та компонуванні різних моделей ЧПК, більшість пультів мають схожі функціональні зони у яких розміщуються: органи керування живленням, засоби відображення інформації, клавіатурні панелі введення даних та органи оперативного керування верстатом.

Отримані результати аналізу дозволяють сформулювати основні вимоги до конструкції пульта керування для верстата 16K20 та можуть бути використані як основа для подальшого проектування тривимірної моделі пульта і розроблення його програмно-апаратного забезпечення.

## 1.2 Аналіз конструкцій пультів керування сучасних систем ЧПК токарних верстатів

Пульт керування є основним засобом взаємодії оператора із системою числового програмного керування. Саме через пульт здійснюється введення команд, налаштування технологічних параметрів, запуск та зупинка програм обробки, контроль стану обладнання, а також виконання налагоджувальних операцій. Від зручності розташування органів керування, інформативності індикації та ергономіки пульта значною мірою залежить ефективність роботи оператора та безпека експлуатації верстата [7].

У сучасних системах ЧПК пульти керування будуються за модульним принципом та зазвичай складаються з дисплейного модуля, клавіатури введення даних, функціональних кнопок, перемикачів режимів роботи, індикаторів стану системи та аварійних органів керування які згруповані за функціональними зонами, описаними в попередньому розділі.

. Для забезпечення швидкого доступу до найбільш важливих функцій кнопки запуску, зупинки та аварійного вимкнення розміщуються в найбільш доступних зонах панелі оператора.



Рис. 1.3 - Інтерфейс пульта числового програмного керування токарного верстата 16K20.

Однією з важливих вимог до конструкції пультів ЧПК є забезпечення надійної роботи в умовах виробничого середовища. Під час роботи металорізальних верстатів у повітрі можуть міститися металева стружка, пил та аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин. Тому корпуси пультів виконуються із захищених металевих конструкцій із використанням ущільнювачів, фільтрів та систем примусової вентиляції. Для захисту електронних компонентів застосовуються герметизовані кнопки, мембранні клавіатури та спеціальні промислові дисплеї [8].

### **1.3 Аналіз систем автоматичної зміни інструмента**

Однією з важливих складових сучасних систем числового програмного керування є автоматизована система зміни інструмента. Її використання дозволяє значно скоротити непродуктивний час роботи обладнання та забезпечити виконання складних технологічних операцій без участі оператора. Особливо важливим це є під час серійного та масового виробництва, де обробка деталі може вимагати послідовного використання декількох різальних інструментів. Залежно від конструкції верстата застосовуються револьверні головки, дискові магазини інструментів або роботизовані механізми заміни. У токарних верстатах найбільшого поширення набули револьверні головки, які забезпечують швидке позиціонування необхідного інструмента у робочу позицію. Керування такими механізмами здійснюється за допомогою спеціальних M-функцій керуючої програми [9].



Рисунок 1.4 - Автоматизована система зміни інструмента фрезерного верстата з числовим програмним керуванням. [10]

Типова система автоматичної зміни інструмента складається з виконавчого приводу, механізму фіксації інструмента, датчиків положення та логічного контролера керування. Під час виконання команди зміни інструмента система здійснює перевірку поточного стану обладнання, розтискання механізму фіксації, поворот револьверної головки до необхідної позиції та повторне затискання інструмента. Для підтвердження успішного завершення операції використовуються сигнали кінцевих вимикачів або датчиків положення.

Надійність роботи системи зміни інструмента безпосередньо впливає на безпеку експлуатації верстата та якість виготовлення деталей. Помилки позиціонування або неповне затискання інструмента можуть призвести до пошкодження обладнання та аварійних ситуацій. З цієї причини алгоритми керування такими механізмами реалізуються у вигляді логічних автоматів із контролем станів та обов'язковою перевіркою виконання кожного етапу операції [11].

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

У першому розділі було розглянуто загальну структуру систем числового програмного керування токарних верстатів та їх роль у забезпеченні автоматизованої обробки деталей. Проведено аналіз конструктивних особливостей пультів керування сучасних систем ЧПК, визначено основні вимоги до їх ергономіки, надійності та умов експлуатації. Також виконано аналіз систем автоматичної зміни інструмента, розглянуто принципи їх побудови та особливості функціонування в складі токарних верстатів.

Отримані результати аналізу дозволили сформулювати вимоги до розроблюваного пульта керування токарного верстата 16К20 та визначити основні принципи побудови програмно-апаратної системи керування його логічними пристроями. Теоретичні положення, розглянуті в даному розділі, використані під час розроблення конструкції пульта та алгоритмів керування, що наведені в наступних розділах роботи.

## **2. ПРОЄКТУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ПУЛЬТА КЕРУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS**

### **2.1 Постановка задачі проєктування та розроблення компонування пульта керування**

В умовах модернізації металорізального обладнання особливої актуальності набуває розробка сучасних систем числового програмного керування для токарних верстатів. Значна кількість верстатів типу 16К20, що використовуються на виробництві, мають достатній механічний ресурс, однак їхні системи керування не відповідають сучасним вимогам автоматизації та ергономіки. [11]

Одним із важливих елементів системи ЧПК є пульт керування, який забезпечує взаємодію оператора з обладнанням, виконання налагодження, запуск технологічних режимів та контроль роботи верстата. Від зручності компонування елементів керування, логіки їх розміщення та ергономічності пульта значною мірою залежить ефективність роботи оператора та швидкість виконання налагоджувальних операцій. [12]

Особливо важливим є забезпечення зручного керування револьверною головкою та процесом автоматичної заміни інструменту. У процесі обробки деталей оператору необхідно здійснювати керування зміною інструменту, контролювати режими роботи та оперативно реагувати на аварійні ситуації. Тому під час проєктування пульта необхідно враховувати вимоги ергономічності, функціональності та безпеки експлуатації.

Метою даного етапу роботи є розроблення компонування пульта числового програмного керування токарного верстата 16К20 з урахуванням сучасних вимог до систем автоматизації [5]. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити склад основних елементів керування;
- сформулювати структуру пульта оператора;
- виконати компонування елементів керування;
- забезпечити зручність доступу до органів керування;
- передбачити можливість керування автоматичною зміною інструменту;

- забезпечити можливість подальшої інтеграції пульта із системою ЧПК.

Під час проектування пульта керування особливу увагу приділено розміщенню (Рисунку 1.1):

- дисплея системи ЧПК;
- кнопок керування режимами роботи;
- органів аварійного вимкнення;
- перемикачів режимів;
- елементів керування револьверною головкою;
- індикаторів стану обладнання.

Розроблення конструкції пульта та його тривимірної моделі виконується у середовищі SOLIDWORKS, що дозволяє виконати візуалізацію конструкції, оцінити ергономічність компонування та підготувати комплект конструкторської документації.

До складу системи керування токарного верстата 16K20 входять:

- панель увімкнення живлення;
- пульт оператора системи ЧПК;
- панель налагодження.

Панель увімкнення живлення призначена для подачі електроживлення на систему числового програмного керування та силові кола верстата.

Пульт оператора системи ЧПК призначений для:

- запуску та зупинки системи;
- керування режимами роботи верстата;
- виконання налагодження;
- керування автоматичною зміною інструменту;
- контролю параметрів роботи обладнання.

Панель налагодження використовується під час технічного обслуговування, налагодження обладнання та перевірки роботи окремих виконавчих механізмів.

## 2.2. Побудова 3D-моделі корпусу пульта

Розроблення тривимірної моделі пульта керування виконувалось у середовищі SOLIDWORKS. Використання системи тривимірного моделювання дозволило створити конструкцію пульта з урахуванням ергономічних, конструктивних та технологічних вимог [13].

Під час побудови моделі виконувалось:

- створення ескізів основних елементів корпусу;
- побудова об'ємної геометрії;
- формування монтажних отворів;
- моделювання посадкових місць елементів керування;
- створення складальної моделі пульта.

Для створення геометрії використовувались стандартні операції середовища SOLIDWORKS:

- витягування (Extrude);
- вирізання (Cut-Extrude);
- скруглення (Fillet);
- створення оболонки (Shell).

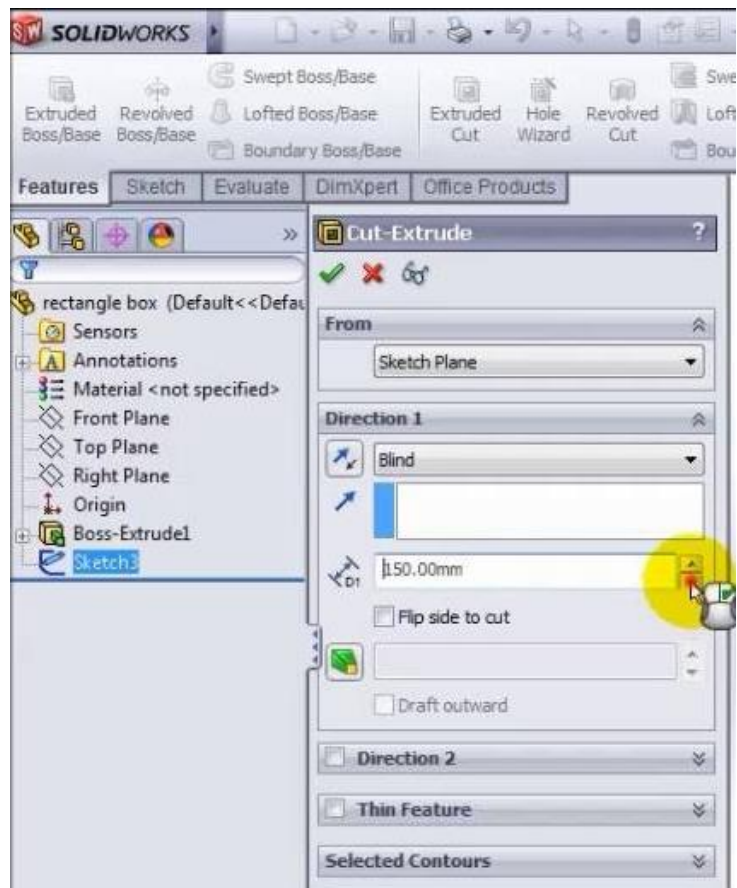


Рис. 2.1 - Інтерфейс середовища SOLIDWORKS, застосування функції вирізання «Cut-Extrude».

Нижче представлені елементи моделювання, у вигляді елементів конструкції розроблені як окремі комплектні станка у середовищі SOLIDWORKS.

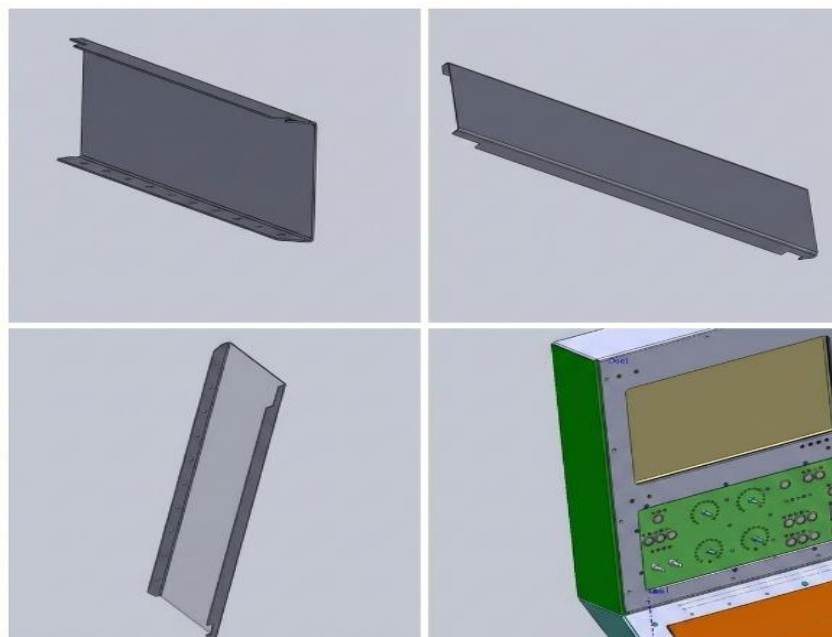


Рис. 2.2 - Плоска листовая деталь з фрезерованими та свердловинними отворами

На рис. 2.4 представлено процес побудови вузла повороту пульта керування. Дана деталь використовується для кріплення пульта до опорної конструкції та забезпечує можливість регулювання положення пульта відносно оператора. Конструкція вузла має циліндричну форму, виконує функцію обертання, отже в даному випадку деталь виконано методом токарної обробки.

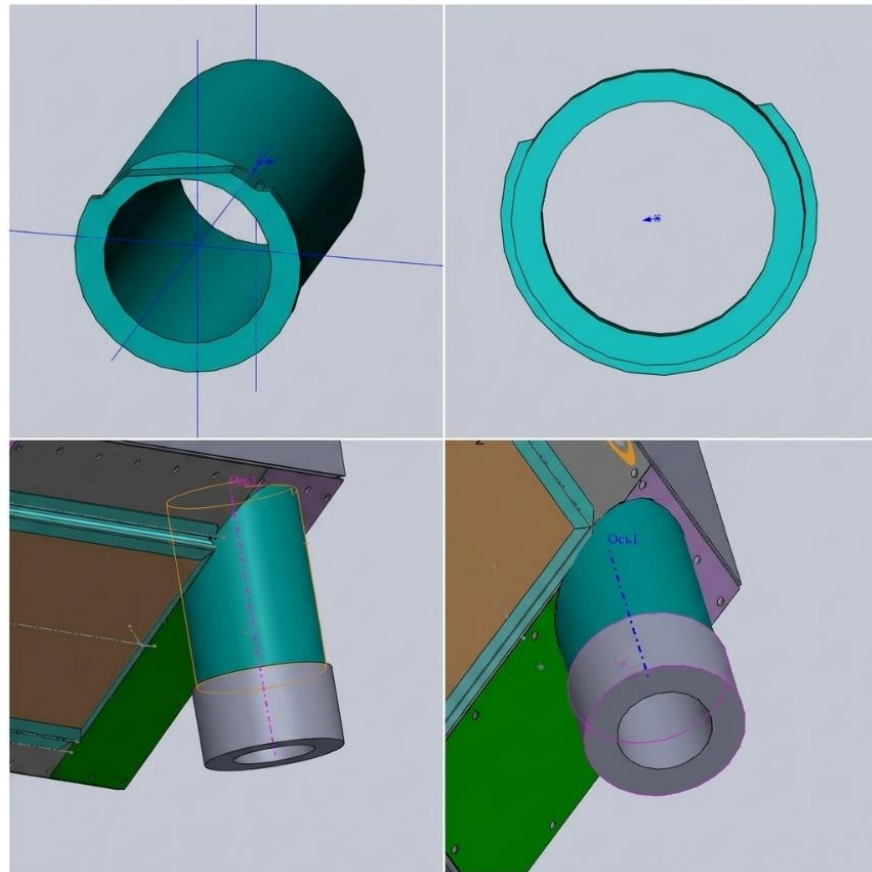


Рис. 2.3 - Побудова тривимірної моделі вузла повороту пульта керування

На рис. 2.4 представлено процес побудови тривимірної моделі вузла повороту пульта керування. Дана деталь використовується для закріплення пульта на опорній конструкції та забезпечення можливості регулювання його положення відносно робочої зони токарного верстата. Конструкція деталі має осьову симетрію та належить до точених деталей обертання, що характерно для деталей, виготовлених методом токарної обробки.

Під час моделювання враховувались технологічні особливості виготовлення деталі, зокрема можливість токарної обробки, забезпечення достатньої жорсткості конструкції та точності посадкових поверхонь. Використання деталі обертання дозволяє спростити процес виготовлення та забезпечити надійність вузла повороту під час експлуатації пульта керування.

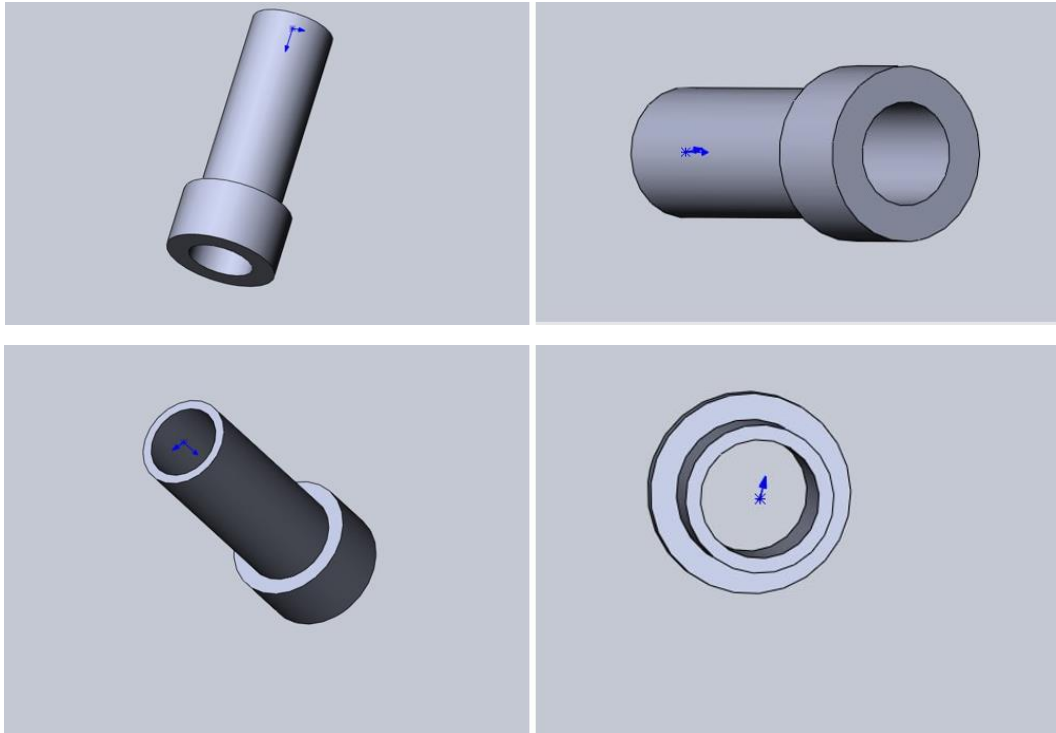


Рис. 2.4 - Побудова тривимірної моделі вузла повороту пульта керування

### 2.2.1 Моделювання панелі керування увімкненням системи

Панель керування верстатом є основним елементом взаємодії оператора із системою ЧПК. На панелі розміщуються:

- кнопки запуску та зупинки;
- кнопка аварійного вимкнення.

Під час компоновання елементів керування враховувались:

- частота використання органів керування;
- зручність доступу;
- логічне групування елементів;
- ергономічність розташування.

Корпус панелі має нахил передньої поверхні, що забезпечує зручність роботи оператора та покращує огляд дисплея.

Під час формування загальної архітектури пульта керування окремі раніше розроблені функціональні підбірки інтегрувалися у несучу панель за допомогою стандартних кріпильних елементів та інструментів спряження (рисунок 2.1).

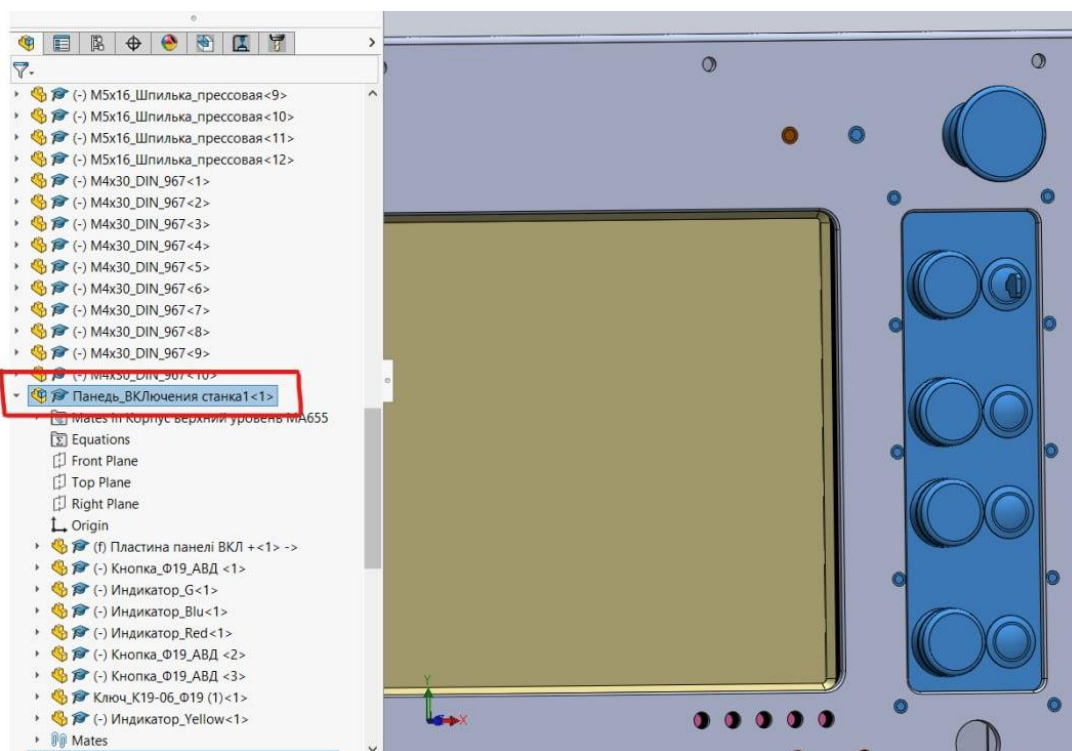


Рисунок 2.1 - Організація дерева конструювання збірки пульта та позиціонування підбірки увімкнення верстата

На рисунку 2.1 продемонстровано інтерфейс вікна збірки верхнього рівня у середовищі SOLIDWORKS. Наведено структуру дерева конструювання, яка відображає інтеграцію підбірки панелі увімкнення верстата, використання пресових шпильок M5x16 та гвинтів DIN 967 для надійної механічної фіксації компонентів, а також накладання геометричних спряжень (Mates) для точного просторового орієнтування деталей.

На рисунку 2.2 продемонстровано вузол збірки лицьової панелі ЧПК, на якому візуалізовано фіксацію пластини увімкнення з функціональними кнопками у відповідному монтажному пазу. Також відображено елементи кріплення по периметру модуля та взаємне розташування з кнопкою аварійної зупинки обладнання.

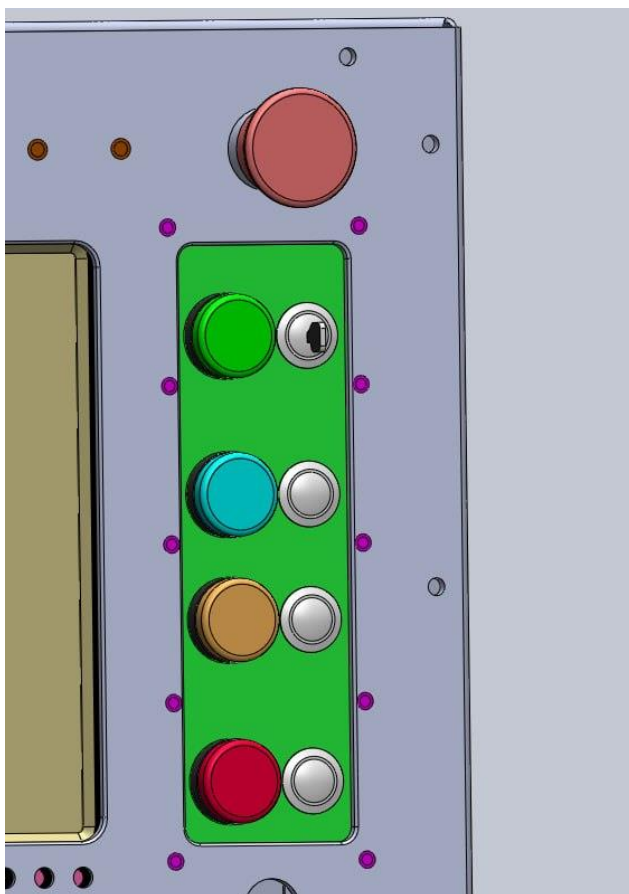


Рисунок 2.2 - Фрагмент збірки пульта з інтегрованим модулем увімкнення системи

На рис. 2.3 представлено проміжний етап розроблення складальної моделі субмодуля увімкнення системи ЧПК. Візуалізовано процес монтажу та просторової фіксації електронно-механічних компонентів (кнопок, тумблерів чи індикаторів циліндричної форми) на раніше спроектованій друкованій платі або металевій пластині-основі.

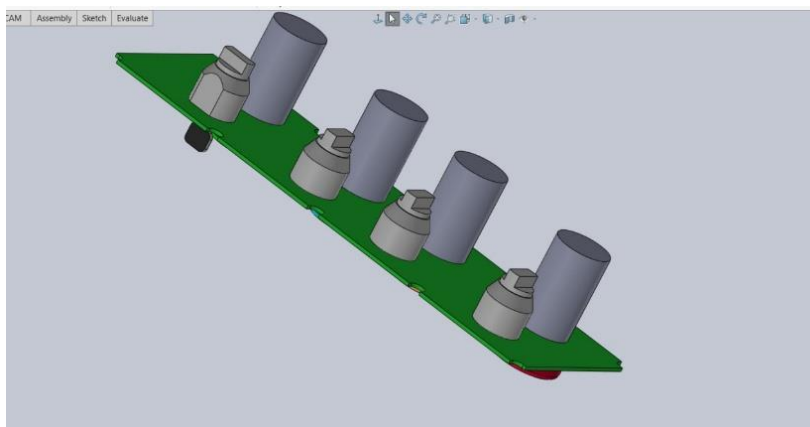


Рисунок 2.3 - Складальна 3D-модель модуля панелі увімкнення з органами керування

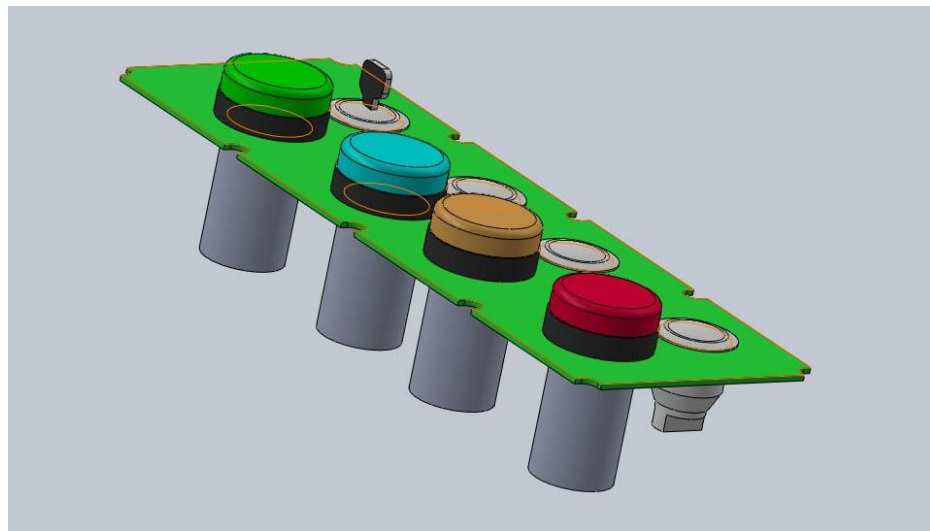


Рисунок 2.4 Візуалізація лицьового боку субмодуля панелі увімкнення з кнопками

На рисунку 2.5 представлено результат виконання операції витягування бобишки (Boss-Extrude) у середовищі тривимірного моделювання SOLIDWORKS. Візуалізовано готову геометричну модель пластини панелі увімкнення, що містить симетрично розташовані монтажні отвори для органів керування та пази для фіксації елемента у загальній конструкції пульта.

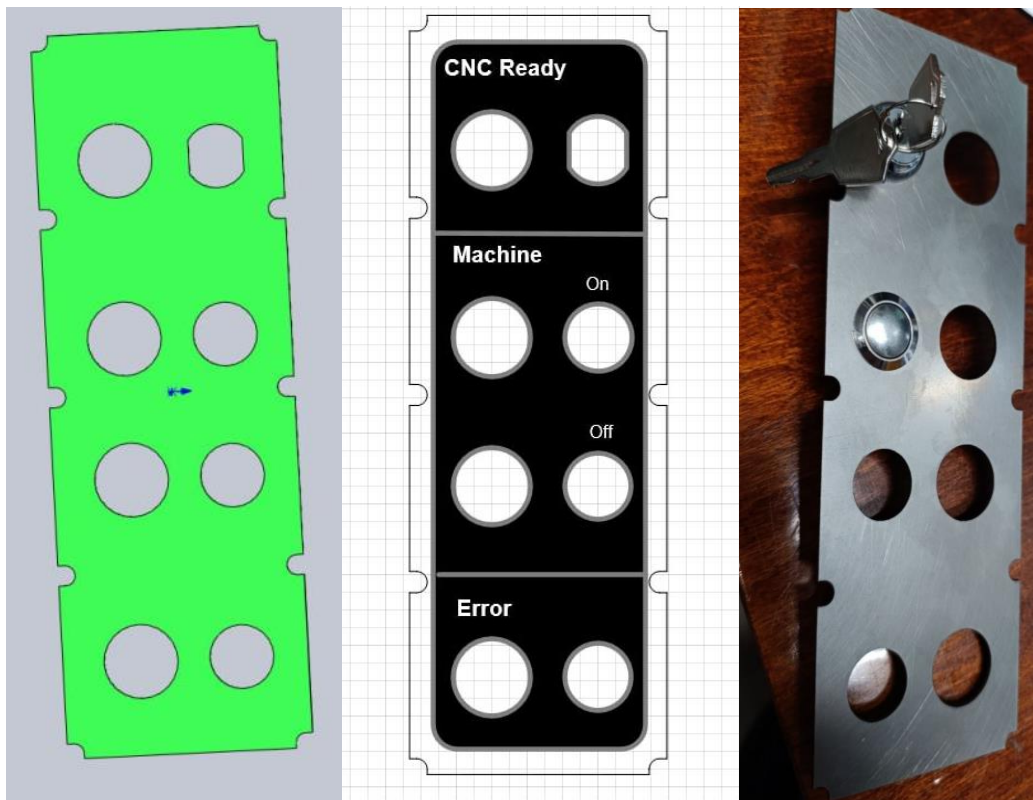


Рисунок 2.5 – Етапи виготовлення твердотільної моделі пластини панелі увімкнення системи ЧПК

На рисунку 2.5 представлено розроблену графічну наліпку панелі увімкнення та індикації стану системи числового програмного керування. Наліпка призначена для маркування елементів керування та індикаторів пульта оператора, а також забезпечення зручності взаємодії оператора з обладнанням.

Графічна наліпка панелі увімкнення та індикації стану системи ЧПК. На панелі передбачено позначення режимів роботи системи ЧПК, стану верстата та індикації аварійних ситуацій. Отвори у конструкції наліпки використовуються для встановлення кнопок керування, перемикачів та світлових індикаторів. Розташування елементів виконано відповідно до принципів ергономічності та логічного групування функціональних зон керування.

На основі розробленої тривимірної геометричної моделі було виготовлено дослідний зразок конструктивного елемента для перевірки точності виконання монтажних отворів та пазів (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Фізичний прототип пластини панелі увімкнення на етапі макетування

На зразку продемонстровано відповідність технологічних отворів проектним розмірам та виконано тестове встановлення механічних органів керування: замкового перемикача режимів роботи з ключем та фронтальної кнопкової головки.

Під час проектування пульта було враховано:

- зручність доступу до органів керування;
- логічне групування функціональних елементів;
- мінімізацію часу налагодження;
- ергономічність розташування кнопок та індикаторів;
- безпечність експлуатації.

Основні елементи керування пульта наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні органи керування пульта ЧПК

<b>Позначення</b>	<b>Назва елемента</b>	<b>Функціональне призначення</b>
SB1	Аварійна зупинка	Аварійне вимкнення системи та приводу верстата
SA1	Ключ увімкнення ЧПК	Увімкнення та вимкнення системи ЧПК
HL1	Індикатор готовності ЧПК	Відображення стану системи ЧПК
SB2	Увімкнення верстата	Подавання живлення на виконавчі механізми
HL2	Індикатор роботи верстата	Індикація активного стану верстата
HL3	Індикатор помилки	Відображення аварійного або помилкового режиму
SB3	Скидання помилки	Повторна ініціалізація системи після помилки

Пульт оператора забезпечує виконання основних операцій керування токарним верстатом у ручному та автоматичному режимах. Для підвищення безпеки роботи на панелі передбачено кнопку аварійної зупинки, яка забезпечує негайне вимкнення приводних механізмів верстата.

На рисунку 2.7 представлено розташування основних елементів керування та індикації пульта числового програмного керування токарного верстата 16K20. На схемі позначено дисплей системи ЧПК XP1, кнопку аварійної зупинки SB1, елементи увімкнення та індикації стану системи SA1/HL1, SB2/HL2, SB3/HL3, а також функціональні кнопки керування SB4–SB7, розміщені на основній панелі керування. Представлена компоновка забезпечує зручність доступу оператора до основних органів керування та підвищує ергономічність роботи з обладнанням.

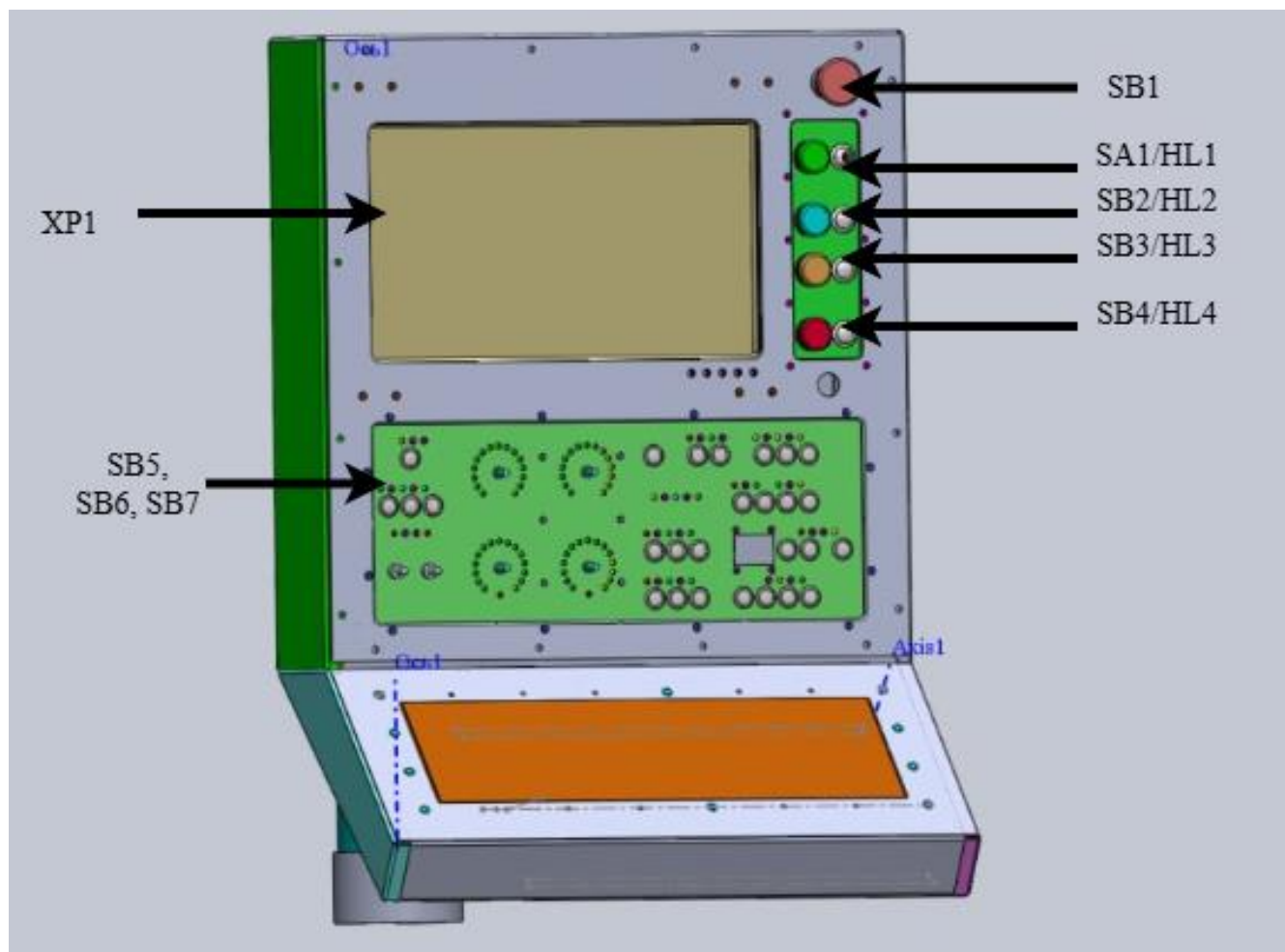


Рисунок 2.7 - Розташування основних елементів керування та індикації пульта ЧПК

Світлові індикатори (Табл. 2.2) дозволяють оператору контролювати стан системи ЧПК, наявність помилок та режим роботи обладнання. Органи керування автоматичною зміною інструменту забезпечують спрощення процесу налагодження та експлуатації верстата.

Таблиця 2.2 – Основні органи керування пульта ЧПК

Стан індикатора	Стан системи
Індикатор вимкнений	Живлення системи відсутнє
Жовтий індикатор	Система ініціалізується
Зелений індикатор	Система готова до роботи
Червоний індикатор	Помилка або аварійний режим

### 2.2.2 Моделювання панелі керування верстатом

Після створення окремих елементів була виконана побудова складальної моделі пульта керування у середовищі SOLIDWORKS.

Складальна модель дозволила:

- перевірити взаємне розташування елементів;
- оцінити габаритні розміри;
- перевірити можливість монтажу компонентів;
- виконати попередню оцінку ергономічності конструкції.

У процесі складання були використані стандартні засоби створення спряжень та фіксації компонентів.

Для аналізу логіки розміщення органів керування та подальшої модернізації було досліджено існуючу архітектуру промислової панелі оператора (рис. 2.3).

На рисунку 2.8 представлено загальний вигляд реального пульта оператора ЧПК із модульною структурою інтерфейсу. На панелі чітко виділено зони потенціометрів регулювання швидкості подачі та шпинделя, джойстики ручного керування переміщеннями по координативних осях (X, Y, Z), цифрове табло стану, а також функціональні клавіші керування маніпулятором і системою автоматичної зміни інструменту.

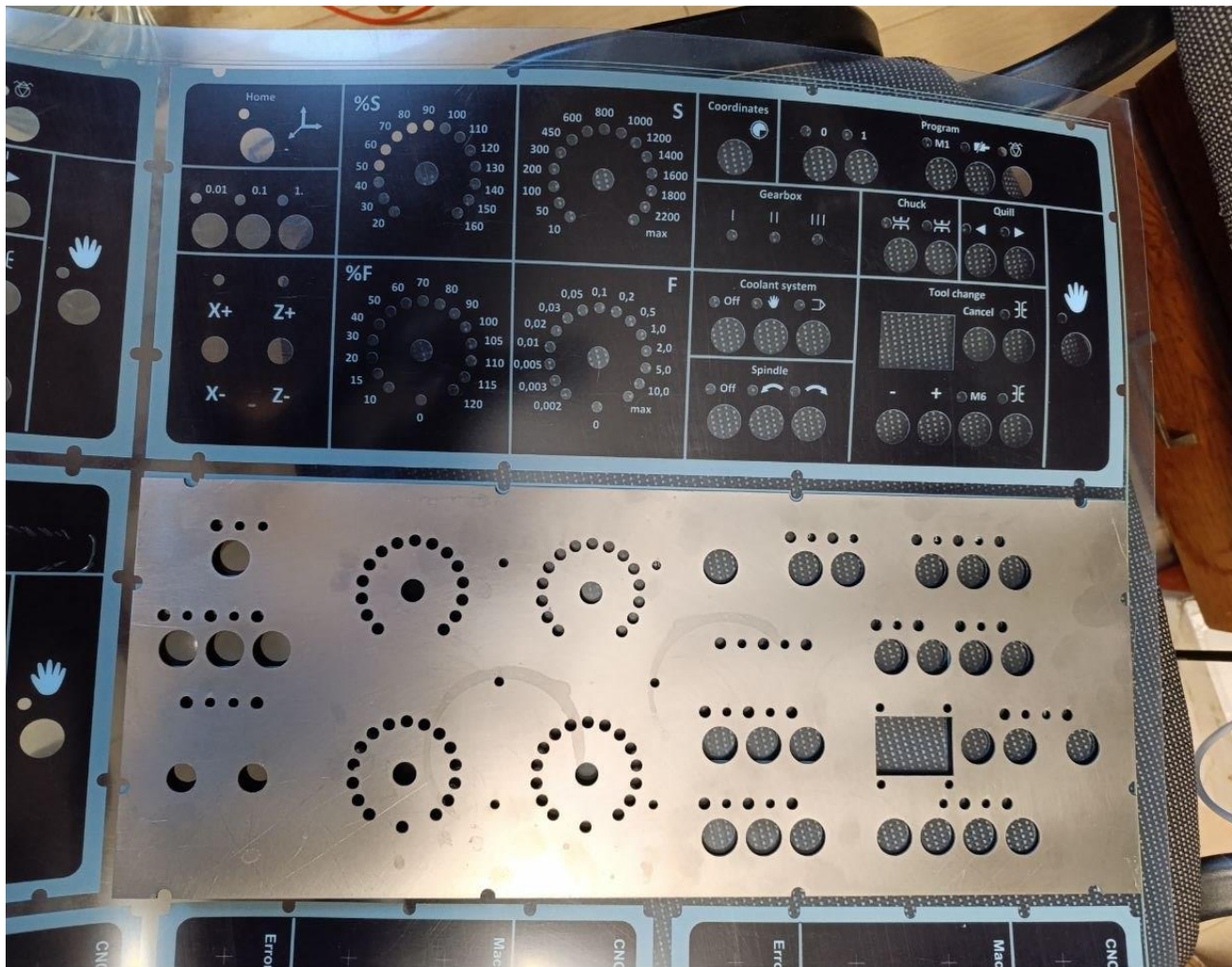


Рисунок 2.8 - Фізична панель оператора промислової системи ЧПК  
токарного верстата

На рисунку 2.9 представлено тривимірну збірку розробленого пульта числового програмного керування. Візуалізація демонструє інтеграцію основного металевого корпусу, похилої панелі налагодження (виділено помаранчевим кольором) та циліндричної основи для жорсткої фіксації пульта на станині токарного верстата, а також просторове розташування кнопки аварійної зупинки. Конструкція пульта складається з основного корпусу, бокових кришок, опорного кронштейна та вузла повороту, який забезпечує можливість регулювання положення пульта відносно оператора. На передній панелі розміщені дисплей системи ЧПК, кнопки керування режимами роботи, елементи індикації та кнопка аварійного вимкнення.

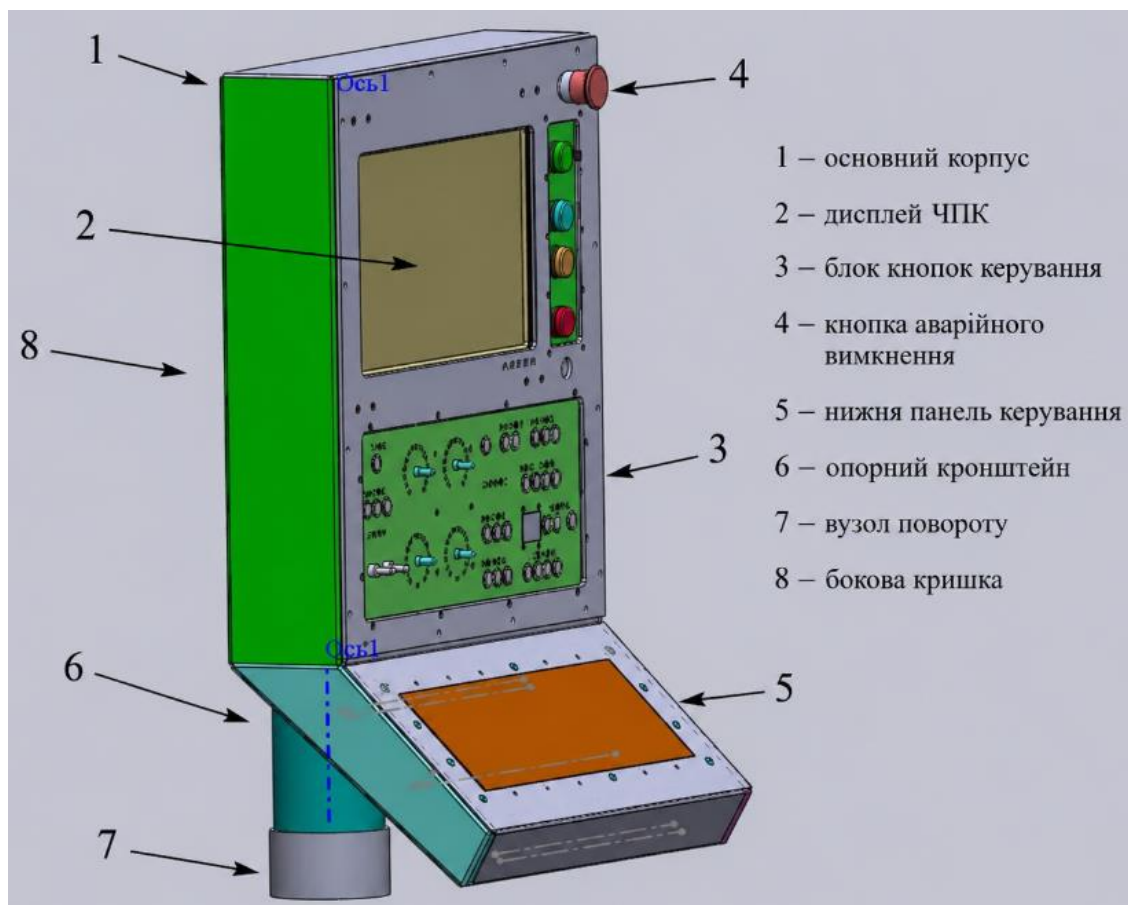


Рисунок 2.9 - Загальний вигляд складальної 3D-моделі пульта керування верстата 16К20 з опорною конструкцією

Основний корпус (1) є базовим конструктивним елементом пульта керування та призначений для розміщення внутрішніх електронних компонентів, елементів кріплення та монтажу функціональних вузлів системи ЧПК. На передній поверхні корпусу передбачено монтажні отвори та вирізи для встановлення дисплея, кнопкових елементів та панелей керування. Деталь має корпусну конструкцію та виготовляється із листового металу з використанням операцій згинання та формування монтажних поверхонь.

Дисплей системи ЧПК (2) призначений для відображення параметрів роботи верстата, режимів керування та службової інформації. Для встановлення дисплея у передній панелі передбачено прямокутний монтажний виріз та отвори для кріплення. Розміщення дисплея у верхній частині пульта забезпечує зручність зчитування інформації оператором під час роботи.

Блок кнопок керування (3) використовується для керування режимами роботи верстата, налагодження обладнання та керування функціями системи ЧПК. Панель має отвори під кнопки, перемикачі та індикатори. Дана деталь належить до плоских листових деталей та виготовляється методами фрезерування, свердління та листової обробки металу.

Кнопка аварійного вимкнення (4) призначена для екстреної зупинки обладнання у випадку виникнення аварійної ситуації. Розташування кнопки у верхній частині пульта забезпечує швидкий доступ оператора під час роботи з обладнанням.

Нижня панель керування (5) використовується для розміщення допоміжних елементів керування та введення інформації. Панель розташована під кутом до основної частини корпусу, що забезпечує покращення ергономічності конструкції та зручність роботи оператора.

Опорний кронштейн (6) призначений для закріплення пульта на конструкції токарного верстата та забезпечення необхідного положення пульта під час роботи. Деталь має просторову корпусну форму та виготовляється із листового металу із використанням операцій згинання та формування опорних площин.

Вузол повороту (7) реалізовано у вигляді циліндричної деталі обертання, яка забезпечує можливість зміни положення пульта відносно робочої зони верстата. Деталь належить до точених деталей та може виготовлятися методом токарної обробки.

Бокова кришка (8) забезпечує захист внутрішніх компонентів пульта та формує зовнішній контур конструкції. Деталь належить до гнутих листових елементів корпусу та виготовляється із листового металу з використанням операцій згинання та формування монтажних полиць.

На рисунку 2.10 представлено складальну тривимірну модель пульта оператора в процесі взаємної прив'язки компонентів. На моделі відображено інтеграцію лицьової панелі з отворами під клавіатурну матрицю, вікном графічного дисплея, встановленими індикаторами та нижньою монтажною зоною (виділено помаранчевим кольором) із використанням допоміжних осей позиціонування (Axis).

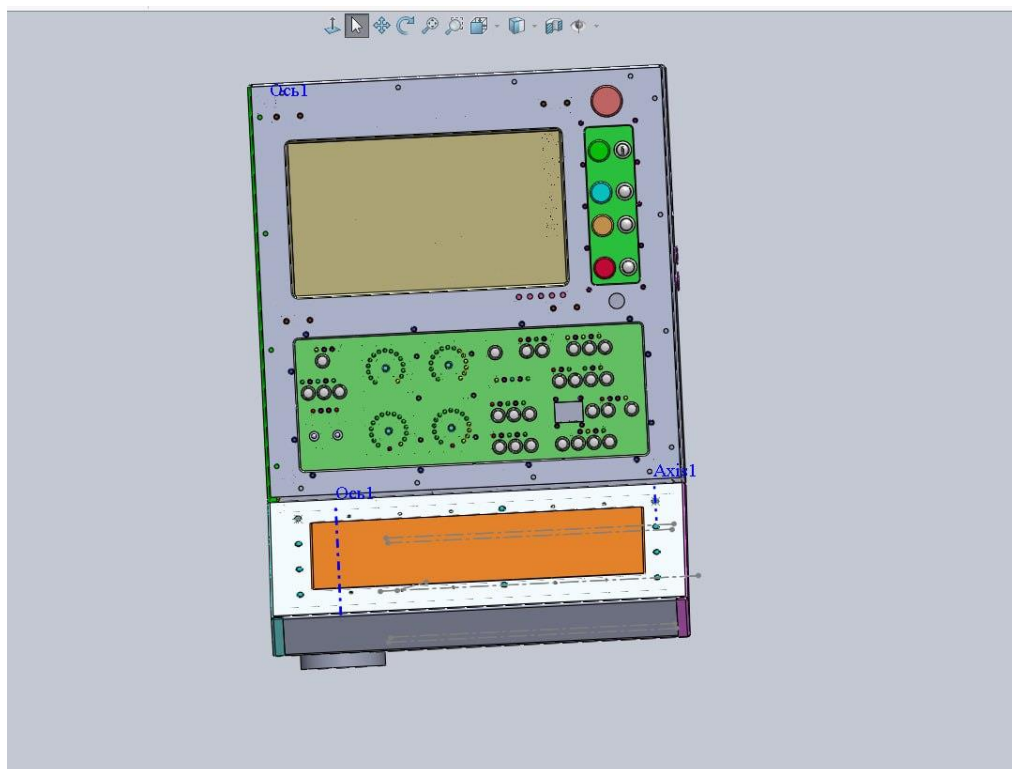


Рисунок 2.10 - Процес формування складальної 3D-моделі пульта керування ЧПК

Після формування складальної моделі було виконано аналіз конструкції основних елементів пульта керування та особливостей їх побудови у середовищі SOLIDWORKS. До складу пульта входять плоскі листові деталі, гнуті елементи корпусу, просторові опорні конструкції та деталі обертання.

Під час моделювання кожної деталі враховувались конструктивні особливості, технологічність виготовлення та можливість подальшого складання конструкції. Нижче наведено процес побудови та особливості моделювання основних деталей конструкції пульта керування.

Побудова моделі передньої панелі виконувалась шляхом створення базового ескізу прямокутної форми з подальшим витягуванням геометрії на задану товщину. Після створення основної форми були побудовані отвори під елементи керування, індикатори та кріпильні елементи. Для формування симетрично розташованих отворів використовувались операції масиву та дзеркального відображення. Дану деталь спроектовано як гнуту листову конструкцію, виготовлену з листового металу, згинанням та формуванням монтажних полиць.

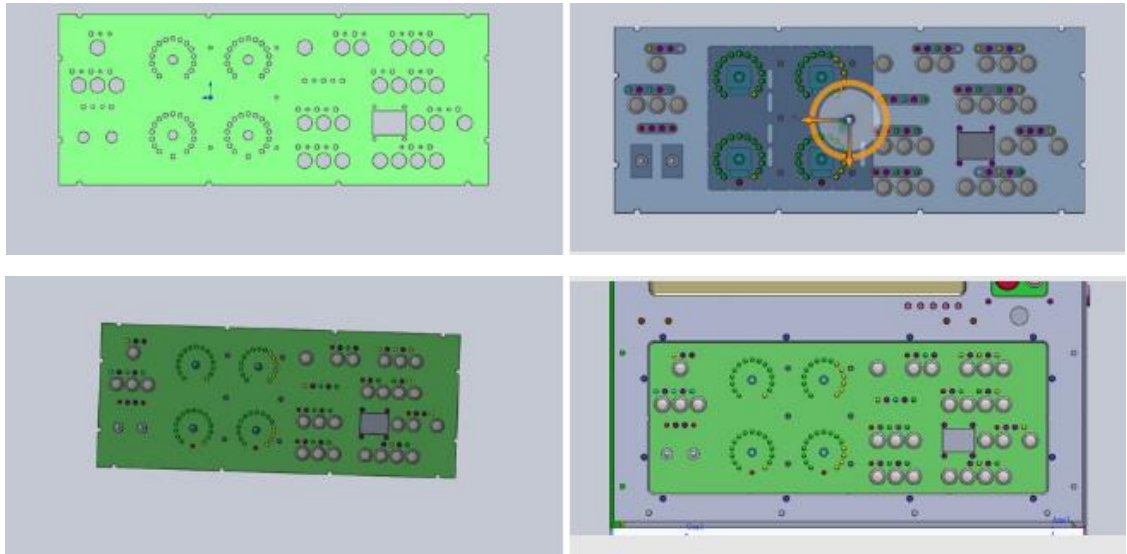


Рисунок 2.11 - Бокова кришка корпусу пульта керування ЧПК

На рисунку 2.11 бокова кришка корпусу належить до деталей, виготовлених із листового металу. Геометрія деталі формується шляхом створення базового профілю з подальшим виконанням операцій згинання, що забезпечує підвищення жорсткості конструкції та спрощує процес виготовлення.

На рисунку 2.12 представлено функціональне компонування елементів керування пульта ЧПК токарного верстата 16К20. Панель керування умовно поділена на декілька функціональних зон, що забезпечують керування режимами роботи верстата, шпинделем, системою координат, системою охолодження, а також виконання ручного налагодження та зміни інструмента.

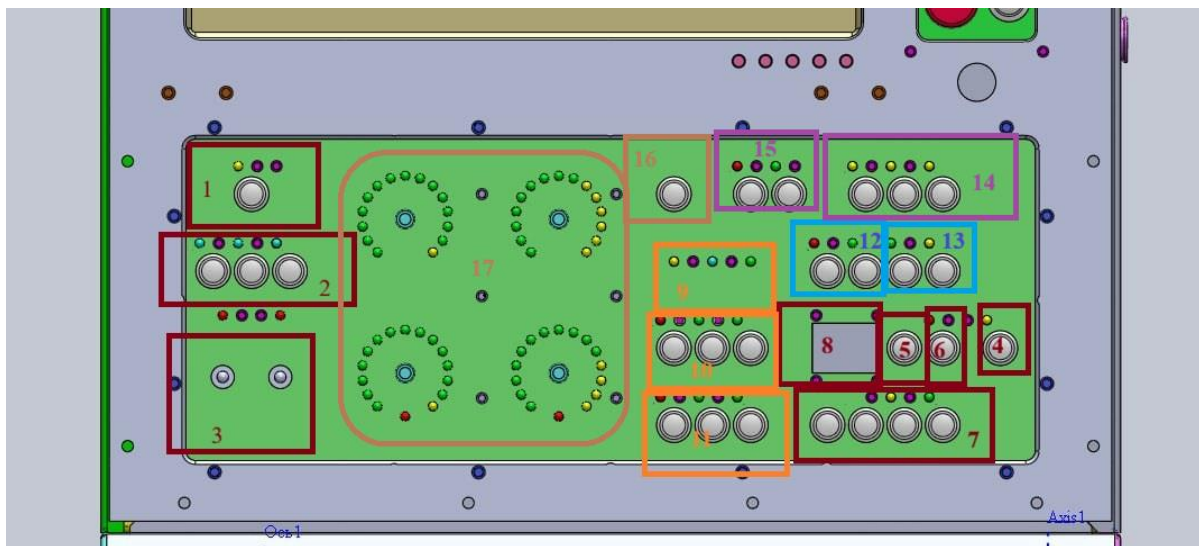


Рисунок 2.12 – Опис функціональних блоків пульта управління

Поз. 1 відповідає блоку системи координат верстата (СКВ). Даний режим використовується після подачі живлення на систему ЧПК для автоматичного виведення осей верстата у початкове нульове положення. Після завершення процедури базування та виходу у нульову точку індикатори стану гаснуть, що свідчить про готовність системи до роботи. Під час налагодження або прив'язки деталі індикація може залишатись активною.

Поз. 2 представляє блок вибору режиму крокового переміщення осей. За допомогою кнопок оператор задає величину дискретного переміщення робочих органів верстата з кроком 1 мм, 0,1 мм або 0,01 мм, що використовується під час точного ручного налагодження.

Поз. 3 містить перемикачі напрямків ручного переміщення осей  $X^+$ ,  $X^-$ ,  $Z^+$  та  $Z^-$ . Даний блок дозволяє оператору виконувати ручне позиціонування інструмента або робочих органів верстата під час налагодження та встановлення заготовки.

Поз. 4 відповідає режиму ручного керування. Активація даного режиму надає оператору можливість безпосереднього керування окремими виконавчими механізмами верстата з пульта ЧПК.

Поз. 5-8 утворюють блок зміни інструмента. Поз. 5 використовується для скасування вибору інструмента або поточної операції зміни. Поз. 6 забезпечує затиск інструмента у шпинделі. Поз. 7 містить кнопки вибору інструмента М6 «+» та М6 «-», а також кнопку розтиску інструмента. Поз. 8 є цифровим індикатором номера інструмента, що використовується для відображення поточного або вибраного положення інструмента.

Поз. 9 представляє блок індикації коробки передач. Оскільки коробка передач верстата є механічною, перемикання ступенів здійснюється оператором вручну за допомогою важеля. Світлодіодна індикація відображає активний діапазон передачі.

Поз. 10 відповідає системі керування подачею охолоджувальної рідини (СОЖ). Блок забезпечує можливість примусового вимкнення СОЖ, автоматичного режиму роботи та примусового ввімкнення охолодження. В автоматичному режимі керування здійснюється командами M08 та M09 системи ЧПК.

Поз. 11 є блоком керування шпинделем. Кнопки забезпечують зупинку шпинделя, запуск обертання за годинниковою стрілкою та запуск проти годинникової стрілки. Відповідні режими реалізуються командами M3 та M4 системи ЧПК.

Поз. 12 відповідає системі керування патроном верстата, що забезпечує затиск або розтиск заготовки.

Поз. 13 призначена для керування піноллю. Управління здійснюється електроприводом у напрямках вперед та назад. Зупинка руху відбувається після спрацювання датчика зусилля або після відпускання кнопки оператором.

Поз. 14–15 утворюють блок керування виконанням програми обробки. Поз. 14 містить функції умовного технологічного зупину та тимчасового призупинення процесу обробки для проведення контролю, вимірювань або аналізу оператором без повного завершення програми. Поз. 15 реалізує функції запуску та зупинки виконання програми. Кнопки мають збільшений рельєфний профіль, що дозволяє оператору швидко розпізнавати їх без постійного візуального контролю.

Поз. 16 відповідає режиму системи координат деталі. Даний режим використовується для прив'язки координат заготовки та визначення положення інструмента відносно оброблюваної деталі.

Поз. 17 містить енкодери керування, які використовуються для точного введення параметрів, регулювання режимів роботи та навігації інтерфейсом системи ЧПК.

В ході роботи розроблено загальний дизайн графічної наліпки, проведено трасування ліній розмежування та створено файл експорту у векторі для друкарні. Результатом є готовий макет лицьової панелі пульта.

Розроблений графічний макет захисної наліпки передньої панелі представлено на рисунку 2.17.

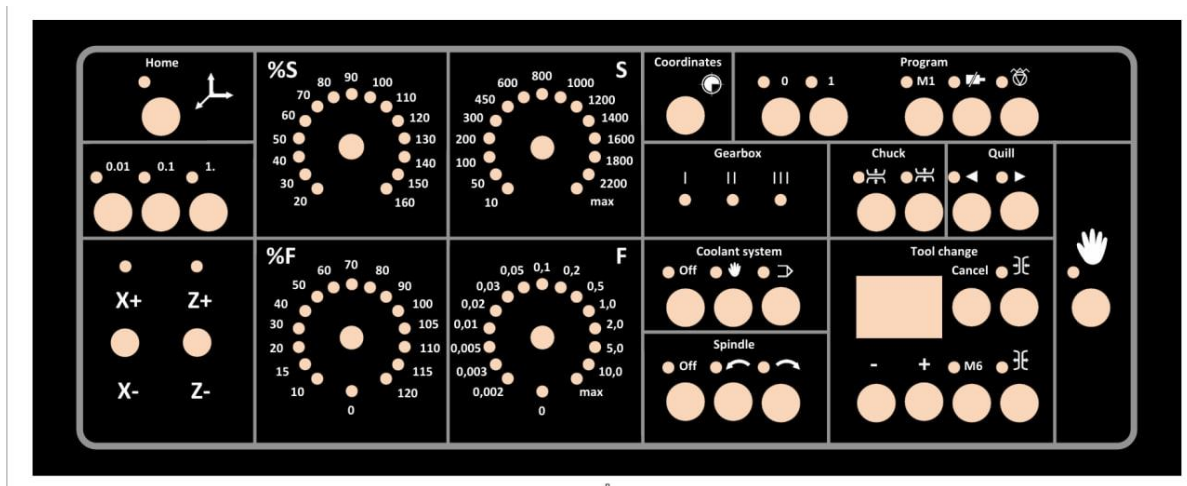


Рисунок 2.13 - Графічний макет захисної наліпки передньої панелі пульта керування верстата 16K20

На рисунку 2.13 представлено графічну наліпку (мембранну панель) пульта керування токарного верстата з числовим програмним керуванням. Наліпка призначена для візуального структурування органів керування, індикації режимів роботи та підвищення зручності взаємодії оператора із системою ЧПК. Розміщення елементів виконано за функціональним принципом, відповідно до основних режимів роботи верстата.

У лівій верхній частині панелі розташовано блок повернення у початкову координатну позицію (Home), а також блок вибору дискретності ручного переміщення осей з кроками 0.01, 0.1 та 1 мм. Нижче знаходиться блок ручного керування координатами X та Z, який забезпечує переміщення супорта у відповідних напрямках під час налагодження та позиціонування інструмента.

Центральна частина панелі містить індикаторні кільцеві шкали систем координат та подачі. Світлодіодні елементи дозволяють відобразити поточний стан координатних систем, параметри подачі та режимів роботи верстата. Використання кругових індикаторів забезпечує швидке візуальне сприйняття інформації оператором під час експлуатації обладнання.

У правій частині панелі розташовано функціональні блоки керування допоміжними системами верстата. Блок Program забезпечує керування режимами виконання програми, включаючи покрокове виконання, паузу та автоматичний режим роботи. Блок Gearbox використовується для індикації поточного діапазону коробки передач. Блок Chuck призначений для керування затискним патроном, а блок Quill - для керування піноллом задньої бабки.

Нижче розташовані блоки керування системою охолодження (Coolant system), зміною інструмента (Tool change) та шпинделем (Spindle). Блок системи охолодження забезпечує примусове або автоматичне керування подачею мастильно-охолоджувальної рідини. Блок керування шпинделем дозволяє здійснювати запуск та зміну напрямку обертання шпинделя відповідно до команд M3 та M4. Система зміни інструмента забезпечує керування револьверною головкою, включаючи затиск, розтиск та зміну позиції інструмента.

Графічне оформлення панелі виконано з використанням контрастних кольорів та умовних позначень, що дозволяє підвищити ергономічність пульта та зменшити ймовірність помилок оператора під час роботи з обладнанням. Конструкція наліпки передбачає встановлення на металеву передню панель пульта керування та сумісна із кнопками, світлодіодними індикаторами й енкодерами системи ЧПК.

Наліпка містить інтуїтивно зрозуміле маркування органів керування, що мінімізує ймовірність помилок оператора під час роботи. Колірна гамма та шрифти підібрані з урахуванням вимог ергономіки промислових інтерфейсів: кнопки керування циклами («Пуск», «Стоп») та аварійного відключення («Ав. Стоп») мають чітке кольорове кодування; зони керування координатами (X, Z) чітко розмежовані лініями, а навколо поворотних перемикачів нанесено шкалу регулювання швидкості подачі (F%) та обертів шпинделя (S%). Макет повністю підготовлено для друку на зносостійкій плівковій основі.

На рисунку 2.14 представлено графічну наліпку блоку керування пуском та індикацією стану системи ЧПК токарного верстата. Наліпка призначена для організації елементів керування та візуального розділення функціональних зон пульта оператора. Конструкція містить отвори під кнопки керування, світлодіодні індикатори та ключовий перемикач системи.

У верхній частині панелі розташовано секцію «CNC Ready», яка використовується для індикації готовності системи числового програмного керування до роботи. Дана зона забезпечує візуальний контроль стану ініціалізації та працездатності електронної системи верстата.

Центральна секція «Machine» містить елементи ввімкнення та вимкнення виконавчих механізмів верстата. Написи «On» та «Off» використовуються для позначення режимів подавання та відключення живлення приводів і допоміжних систем обладнання. Конструкція панелі передбачає розділення кнопок керування та індикаторів для підвищення ергономічності й зменшення ймовірності помилкових дій оператора.

У нижній частині панелі розташовано секцію «Error», яка використовується для індикації аварійних або помилкових режимів роботи системи ЧПК. Наявність окремої зони аварійної сигналізації дозволяє оператору оперативно контролювати стан обладнання та своєчасно реагувати на виникнення несправностей.

Наліпка виконана у контрастному кольоровому оформленні з використанням світлих написів на темному фоні, що забезпечує зручність експлуатації пульта в умовах виробничого середовища та недостатнього освітлення. Геометрія отворів і контурів відповідає розташуванню кнопок, перемикачів та світлодіодних елементів системи керування.

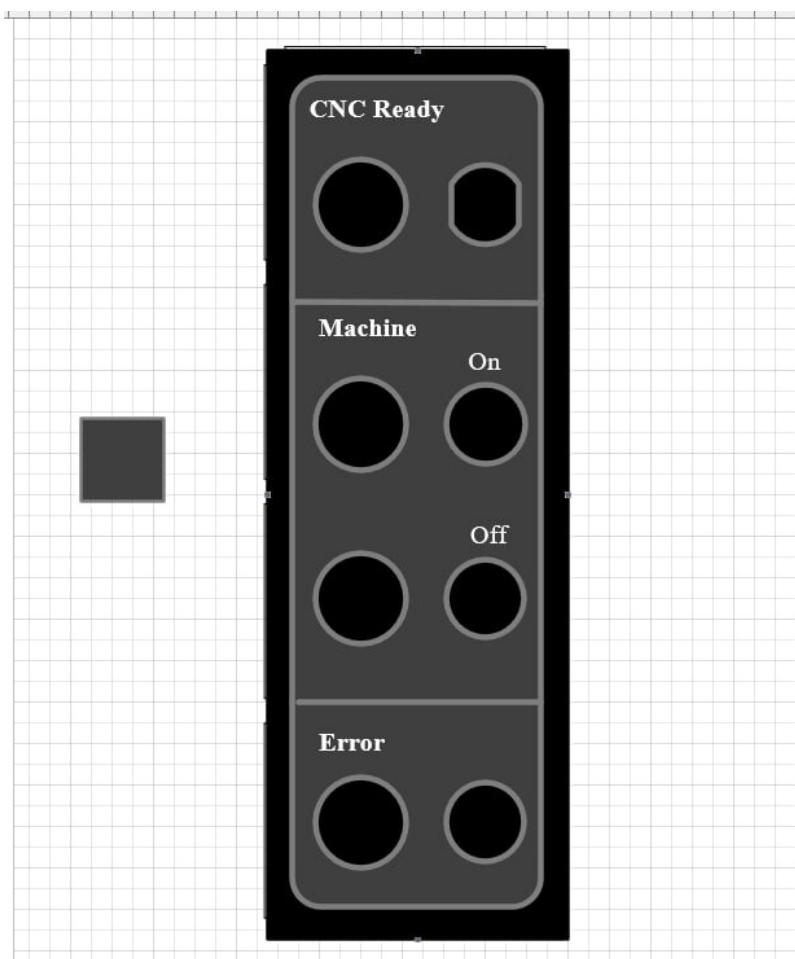


Рисунок 2.14 - Графічна наліпка блоку ввімкнення та індикації стану системи ЧПК

### 2.2.3 Розроблення складальної моделі пульта

Після завершення побудови тривимірної моделі були створені робочі креслення основних елементів конструкції.

До комплекту креслень входять:

- креслення корпусу;
- креслення передньої панелі;
- складальне креслення;
- специфікація основних компонентів.

Креслення виконані відповідно до вимог конструкторської документації.

Під час проєктування конструкції пульта керування також враховувались особливості експлуатації токарного верстата в умовах виробничого середовища. У процесі механічної обробки деталей у робочій зоні верстата утворюється металева стружка, пил та аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин, які можуть негативно впливати на роботу електронних компонентів системи ЧПК та елементів керування пульта.

Під час проєктування конструкції пульта числового програмного керування особлива увага приділялась забезпеченню надійності роботи електронних компонентів в умовах експлуатації металообробного обладнання. Для верстатів токарної групи характерна наявність складних виробничих умов, пов'язаних із утворенням металевої стружки, пилу, аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин та підвищеним рівнем вібрацій. У сучасних системах ЧПК питання захисту електроніки та організації охолодження внутрішнього простору пульта є окремим важливим напрямком проєктування, оскільки стабільність температурного режиму та захист від забруднення безпосередньо впливають на довговічність і надійність роботи системи керування.

У процесі роботи токарного верстата у виробничому приміщенні формується агресивне середовище, яке містить дрібнодисперсну металеву стружку, пил, пари мастильно-охолоджувальних рідин та інші забруднюючі частинки. Потрапляння таких речовин до внутрішнього простору пульта може призвести до перегріву електронних компонентів, окиснення контактів, погіршення роботи системи вентиляції та передчасного виходу з ладу елементів системи ЧПК. У зв'язку з цим конструкція пульта була розроблена з урахуванням необхідності організації контрольованого руху повітря та мінімізації прямого потрапляння забрудненого середовища всередину корпусу (рисунок 2.15).

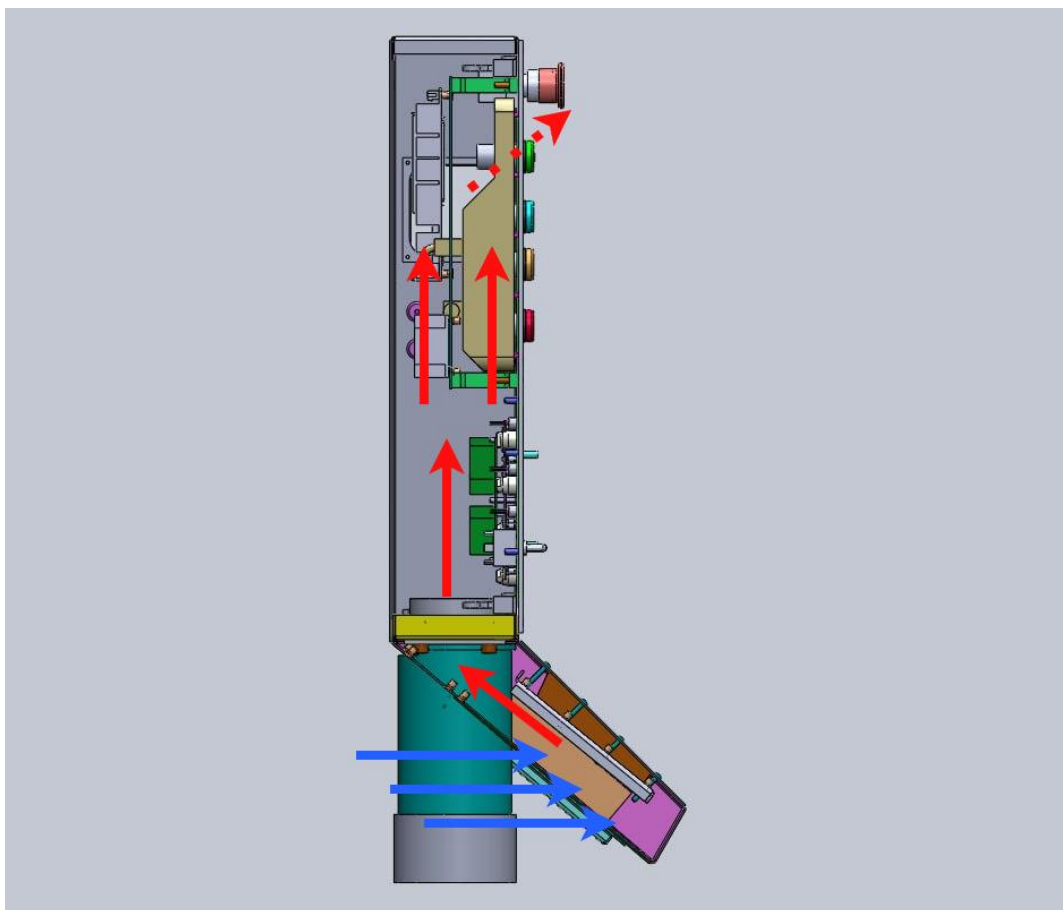


Рисунок 2.15 – Демонстрація циркуляції повітря в внутрішній конструкції верстату

Для забезпечення стабільного температурного режиму в конструкції пульта реалізовано систему примусової циркуляції повітря. Надходження повітря до внутрішнього простору здійснюється через нижню частину корпусу, у якій встановлено змінний повітряний фільтр великої площі. Після проходження через фільтруючий елемент очищене повітря спрямовується до внутрішнього об'єму пульта та проходить через зони розташування електронних модулів, блоку живлення та елементів системи ЧПК. Відведення нагрітого повітря виконується за допомогою вентилятора, встановленого у зоні вигину корпусу пульта. Таким чином формується спрямований потік охолодження, що забезпечує постійний теплообмін електронних компонентів.

Нижня частина корпусу виконує функцію герметизованого вентиляційного каналу із пониженим тиском. Конструкція нижньої панелі має гнуті елементи та замкнені стики, які передбачають можливість виконання герметичного зварного з'єднання. Таке рішення дозволяє мінімізувати несанкціоноване підсмоктування повітря та забезпечити проходження повітряного потоку виключно через фільтруючий елемент.

Повітряний фільтр виконаний обслуговуваним та передбачає можливість періодичної заміни аналогічно до автомобільних систем фільтрації повітря (рисунок 2.16). Застосування фільтра зі збільшеною площею фільтрації дозволяє зменшити аеродинамічний опір системи вентиляції та забезпечити достатній рівень охолодження при одночасному очищенні повітря від механічних домішок.

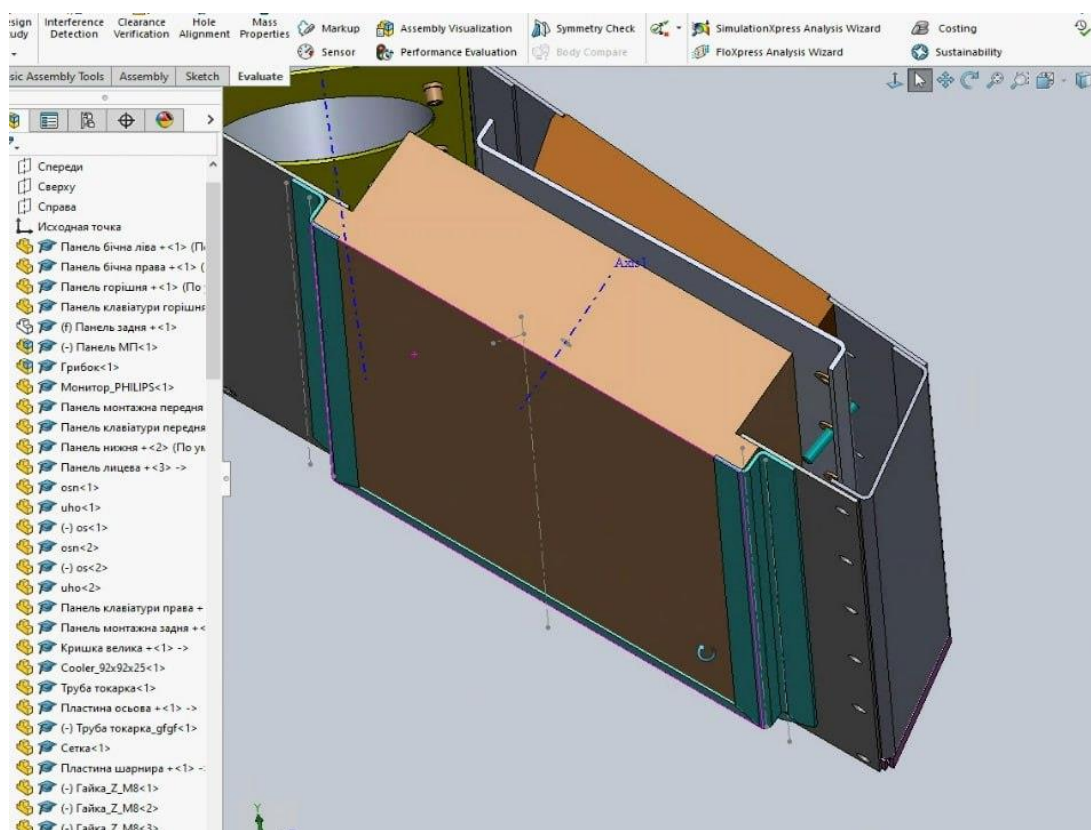


Рисунок 2.16 – Конструкція фільтра верстату

У місцях проходження електричних джгутів та кабельних каналів конструкцією передбачено додаткові герметизуючі елементи з мікропористої гуми. Дане рішення використовується для зменшення витоків повітря та запобігання прямому проникненню пилу та аерозолів до внутрішнього простору пульту через монтажні отвори.

Стикування нижньої та верхньої частин корпусу реалізовано за допомогою спеціальних примикань та внутрішніх направляючих елементів. Нижня частина передньої панелі одночасно виконує функцію верхньої частини нижнього корпусу, що дозволяє підвищити жорсткість конструкції та спростити складання пульта.

Клавіатурний модуль та елементи керування встановлюються на окремій монтажній панелі. Фіксація електронних компонентів здійснюється за допомогою гвинтових з'єднань та спеціальних різьбових втулок. Для монтажу друкованих плат використовуються дистанційні стійки та різьбові бонки, що забезпечують жорстке кріплення елементів та електричну ізоляцію від корпусу.

Конструкція пульта виконана на поворотному кронштейні, який одночасно виконує функції опорного елемента та кабельного каналу (рисунок 2.17). Поворотний вузол забезпечує можливість обертання пульта відносно робочого місця оператора навколо вертикальної осі, що підвищує ергономічність експлуатації обладнання.

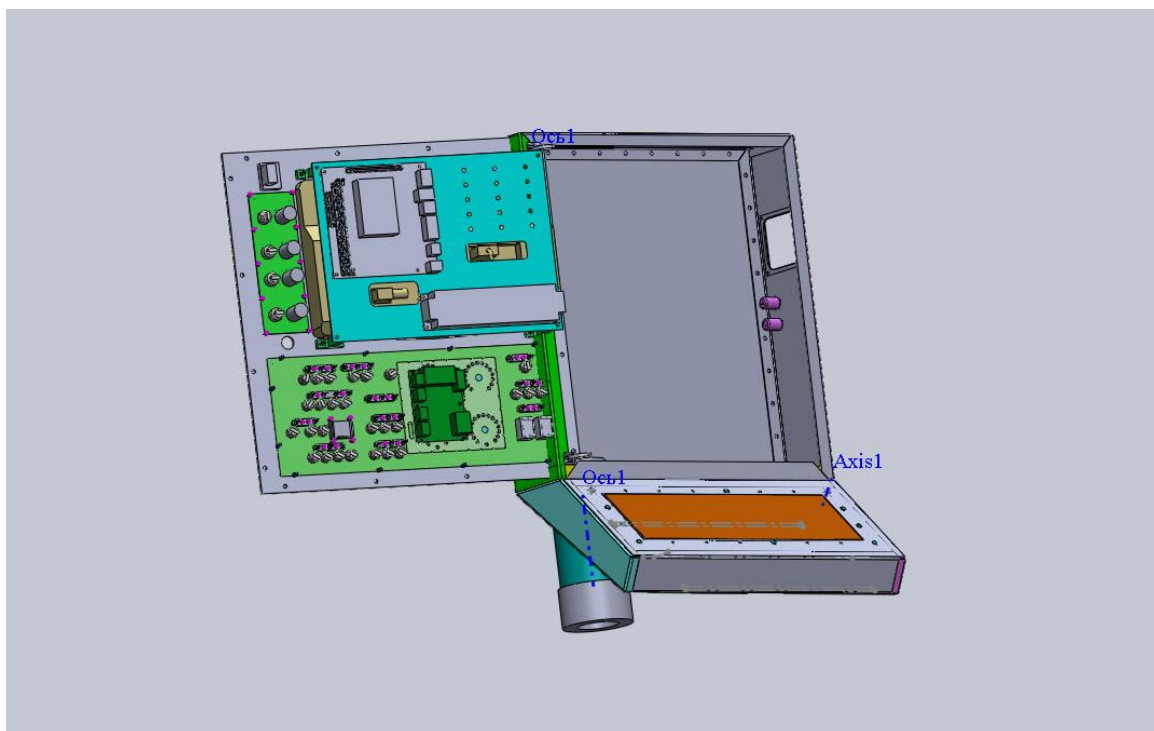


Рисунок 2.17 – Демонстрація роботи поворотного кронштейну

Передня панель пульта закріплена на шарнірних елементах та може відкриватися для забезпечення доступу до внутрішніх компонентів системи. При відкриванні панелі електричні кабелі залишаються зафіксованими та проходять через внутрішню порожнину опорної труби, що мінімізує механічне навантаження та скручування кабельних джгутів під час обслуговування.

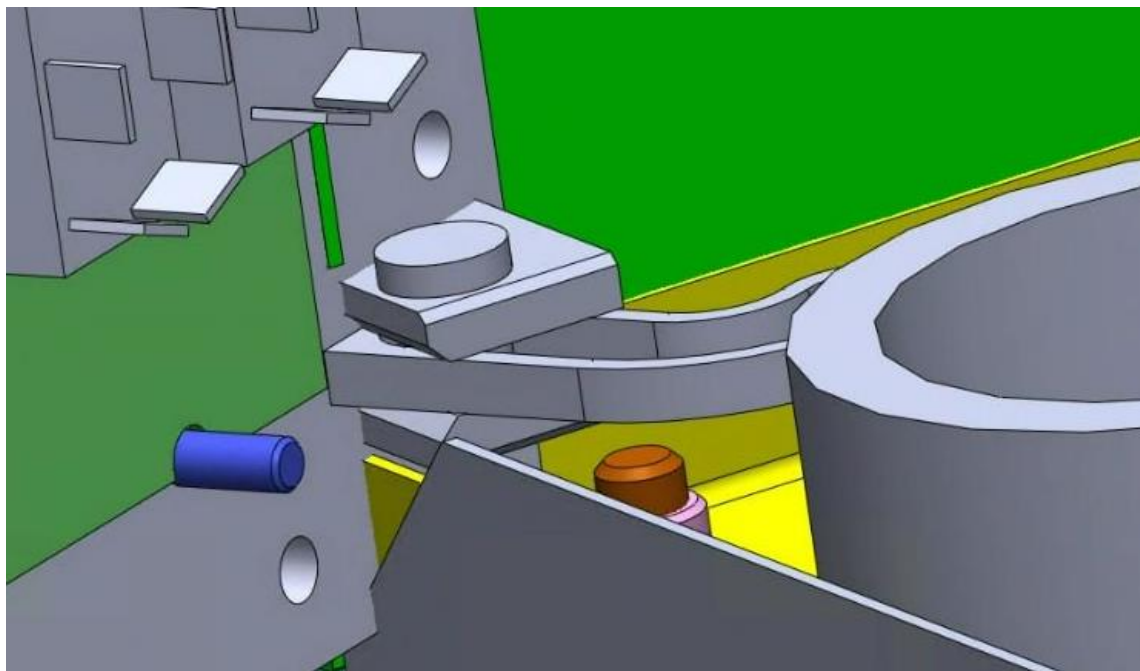


Рисунок 2.18 - Демонстрація роботи поворотного кранштейну

Однією з переваг запропонованої конструкції є можливість попереднього складання та тестування електронних компонентів безпосередньо на передній панелі до встановлення у корпус пульта. Такий підхід спрощує монтаж, діагностику та технічне обслуговування системи ЧПК.

Для забезпечення стабільної роботи обладнання у конструкції пульта передбачено закритий металевий корпус, який забезпечує захист внутрішніх компонентів від потрапляння стружки, пилу та вологи. Крім того, монтаж елементів керування виконано із використанням ущільнених посадкових місць та кріпильних елементів, що дозволяє підвищити рівень захисту електронних вузлів під час експлуатації обладнання у виробничих умовах.

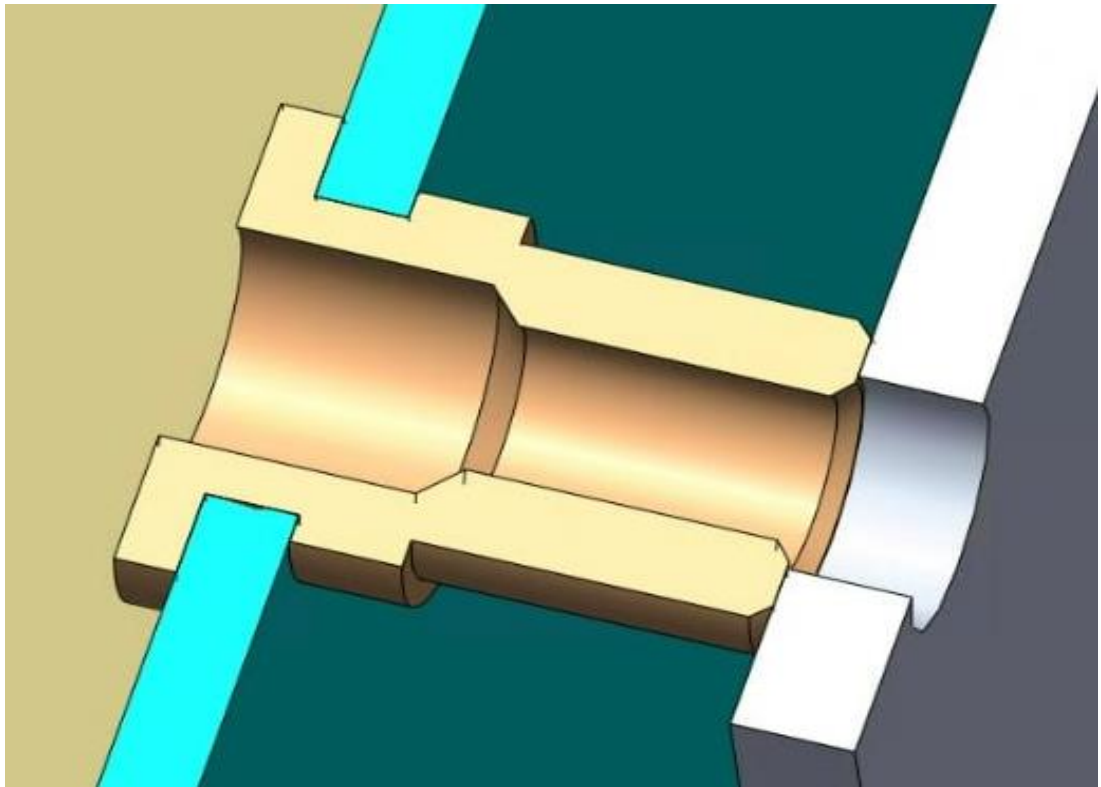


Рисунок 2.19 – Демонстрація ущільнених посадкових місць

Під час роботи токарного верстата використовується система мастильно-охолоджувальної рідини, призначена для зменшення температури різального інструменту, покращення якості обробки поверхні та зниження інтенсивності зношування інструмента. У зв'язку з цим під час компонування пульта керування враховувалась необхідність розміщення пульта поза зоною прямого потрапляння мастильно-охолоджувальної рідини та металевої стружки.

Для подібних систем ЧПК у сучасному металообробному обладнанні широко застосовуються захисні корпуси, герметизовані кнопкові елементи, ущільнення панелей керування та використання промислових компонентів із підвищеним ступенем захисту. Застосування подібних рішень дозволяє підвищити надійність роботи пульта керування та забезпечити стабільність функціонування системи ЧПК у виробничих умовах. [21]

У даному розділі було виконано проектування конструкції пульта числового програмного керування токарного верстата 16K20. Розроблено компонування основних елементів керування, виконано побудову тривимірної моделі корпусу пульта та створено складальну модель у середовищі SOLIDWORKS.

У процесі проєктування враховано вимоги ергономічності, функціональності та безпечності експлуатації. Створена модель дозволяє оцінити конструкцію пульта до етапу виготовлення та підготувати комплект конструкторської документації.

### **2.3 Виготовлення корпусу пульта керування ЧПК**

Виготовлення корпусу пульта керування ЧПК здійснювалося відповідно до розробленої тривимірної моделі пристрою. Заготовки деталей виготовлялися з використанням технології лазерного розкрою листового матеріалу. Гнуття листових деталей виконували слюсарним способом на спеціальному гнучкому пристосуванні. З'єднання деталей в єдину конструкцію виконувалося відповідно до проектних рішень. Нероз'ємні з'єднання виконувалися за допомогою зварювання, а для організації з'єднань з різьбовими елементами застосовувалися заклепкові гайки та пресові шпильки.

На рисунку 2.20 показано внутрішню частину корпусу пульта керування після виконання зварювальних робіт. Конструкція виготовлена з листового металу та має переривчасті (точкові) зварні шви, що забезпечують необхідну жорсткість і герметичність корпусу. Така конструкція дозволяє зменшити проникнення пилу, стружки та аерозолів мастильно-охолоджувальної рідини до внутрішнього простору пульта.

На рисунку 2.21 представлено загальний вигляд зварної конструкції корпусу пульта керування. У корпусі передбачені монтажні отвори для встановлення дисплея, органів керування та внутрішніх електронних модулів. Конструкція забезпечує необхідну міцність, технологічність складання та можливість подальшого монтажу елементів системи ЧПК.

На рисунку 2.22 наведено елемент вузла поворотного кронштейна, який використовується для кріплення пульта керування до верстата. Конструкція забезпечує можливість повороту пульта відносно робочого місця оператора та одночасно виконує функцію кабельного каналу для прокладання електричних джгутів і сигнальних ліній.



Рисунок 2.20 – Корпус пульта керування після зварювання та герметизації



Рисунок 2.21 – Зварна рама корпусу пульта керування та вузол поворотного кронштейна пульта керування

У процесі виготовлення пульта не виникло жодних істотних невідповідностей у геометрії деталей. З'єднання елементів здійснювалося з достатніми зазорами, щоб забезпечити можливість регулювання їхнього взаємного розташування та виправлення похибок виготовлення деталей. Отримані результати під час виготовлення пульта ЧПК загалом підтвердили ефективність підходу до проектування складних просторових конструкцій із застосуванням 3D-моделювання в середовищі SolidWorks.

### 3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА АПРОБАЦІЯ АЛГОРИТМІВ І ПРОГРАМНОГО ВЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ «БЛОК ЖИВЛЕННЯ»

#### 3.1 Розробка структури системи керування логічними автоматами верстата 16K20

Апаратна частина системи числового програмного керування забезпечує взаємодію між оператором, програмним забезпеченням та виконавчими механізмами металорізального верстата. Її основним призначенням є приймання керуючих команд, обробка технологічної інформації, формування сигналів керування та контроль стану обладнання в режимі реального часу (рисунок 3.1).

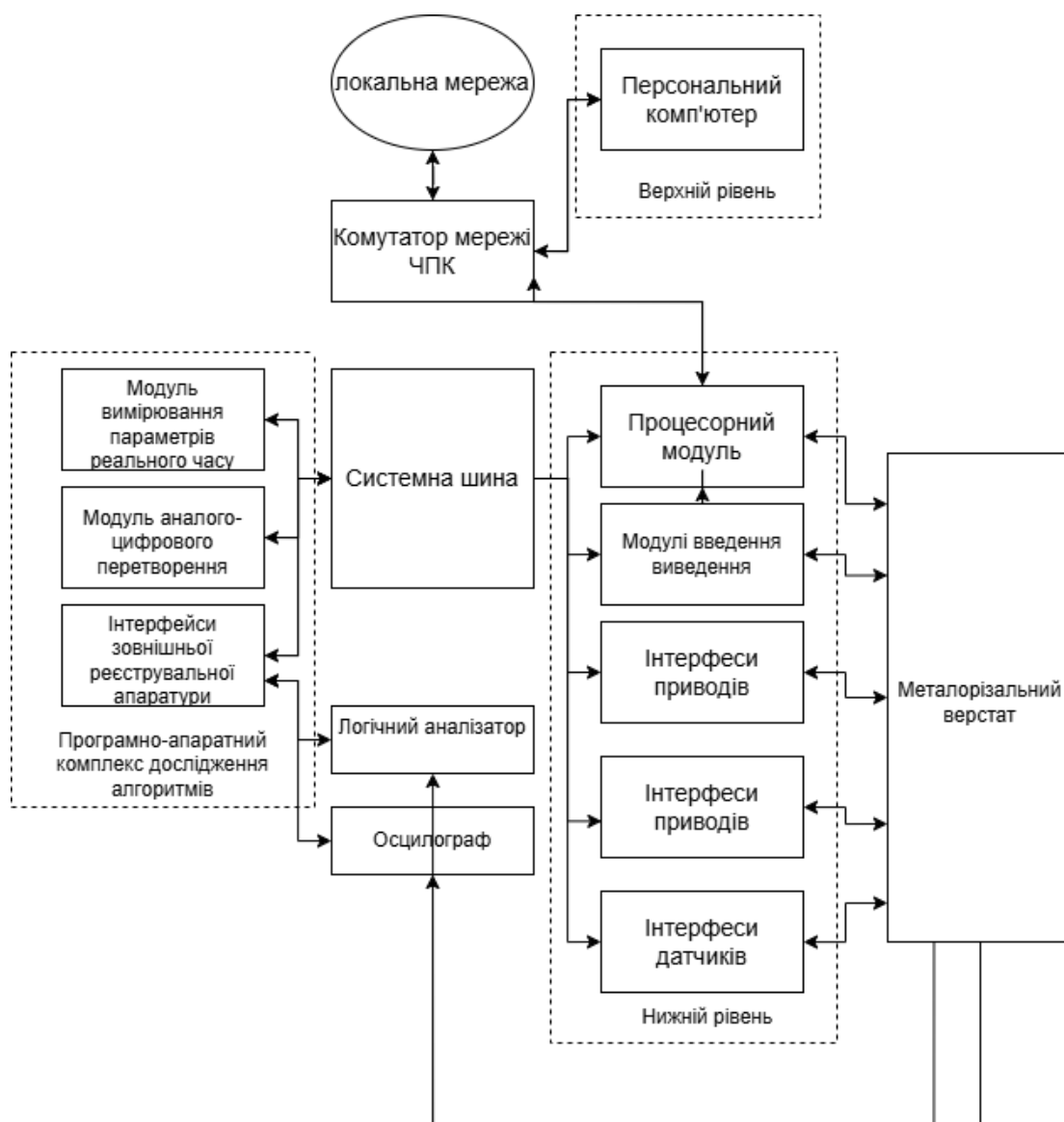


Рисунок 3.1 – Схема апаратної частини ЧПК

Верхній рівень системи представлений персональним комп'ютером оператора та пультом керування. На даному рівні здійснюється введення та редагування керуючих програм, налаштування технологічних параметрів обробки, візуалізація поточного стану обладнання, а також контроль виконання технологічного процесу. Крім цього, верхній рівень забезпечує взаємодію оператора із системою числового програмного керування через графічний інтерфейс користувача та органи керування пульта.

Нижній рівень системи призначений для безпосереднього керування обладнанням верстата та реалізації алгоритмів реального часу. До його складу входять процесорний модуль, модулі введення-виведення дискретних сигналів, інтерфейси керування приводами та інтерфейси підключення датчиків зворотного зв'язку. Саме нижній рівень забезпечує формування керуючих впливів на приводи осей, шпindel, систему зміни інструмента та допоміжні механізми верстата.

Обмін даними між окремими модулями здійснюється через системну шину, яка забезпечує швидку передачу команд, службової інформації та сигналів зворотного зв'язку. Магістральна організація обміну дозволяє реалізувати високошвидкісне керування обладнанням та забезпечити синхронізацію роботи всіх компонентів системи ЧПК.

Для контролю працездатності системи та проведення налагоджувальних робіт до структури можуть бути підключені додаткові засоби діагностики та реєстрації даних. До таких засобів належать модулі вимірювання параметрів реального часу, аналого-цифрові перетворювачі, логічні аналізатори та цифрові осцилографи. Використання зазначених пристроїв дозволяє здійснювати контроль сигналів керування, дослідження алгоритмів функціонування системи та аналіз режимів роботи технологічного обладнання.

Запропонована структура апаратної частини забезпечує ефективну взаємодію між програмними та апаратними компонентами системи числового програмного керування, дозволяє реалізувати необхідну швидкодію під час виконання технологічних операцій та створює можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи.

Для реалізації функцій керування логічними автоматами використовуються сигнали від органів керування пульта оператора, датчиків стану обладнання та виконавчих механізмів. Обробка цих сигналів виконується процесорним модулем нижнього рівня системи ЧПК, який формує необхідні керуючі впливи відповідно до поточного режиму роботи верстата.

Програмне забезпечення системи числового програмного керування побудоване за модульним принципом та складається з рівня взаємодії з оператором, ядра керування та спеціалізованих модулів реального часу. Центральним елементом системи є ядро керування, яке забезпечує координацію роботи окремих програмних компонентів, обробку команд оператора та передачу керуючих впливів до виконавчих механізмів верстата.

Для формування траєкторії руху інструмента використовується інтерполятор, результати роботи якого зберігаються у буфері технологічних даних. Обмін інформацією між програмними модулями реалізовано через менеджер повідомлень та внутрішню віртуальну мережу програмних компонентів.

Безпосереднє керування обладнанням здійснюється групою віртуальних контролерів, що реалізують логіку роботи окремих підсистем верстата: координатних осей, шпинделя, системи мастильно-охолоджувальної рідини та механізму зміни інструмента. Взаємодія програмних модулів із фізичними пристроями здійснюється через системну шину, модулі введення-виведення, інтерфейси приводів та засоби збору сигналів з датчиків зворотного зв'язку (рисунок 3.2) .

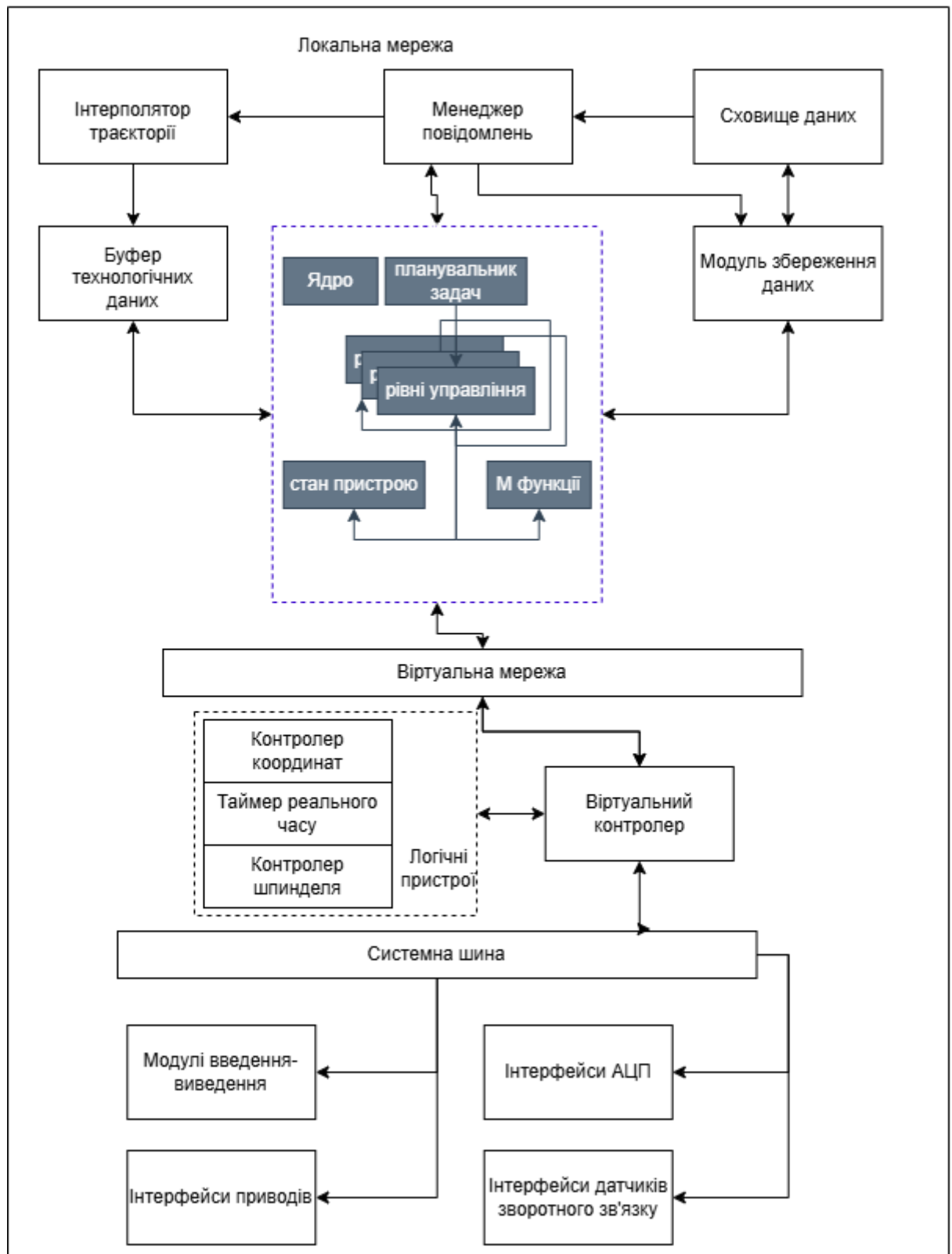


Рисунок 3.2 – Структура програмного забезпечення системи числового програмного керування токарного верстата

Запропонована структура забезпечує можливість реалізації алгоритмів реального часу, спрощує масштабування системи та підвищує ефективність керування технологічним обладнанням.

Кінцевий автомат (Finite State Machine, FSM) являє собою математичну модель дискретної системи, яка в кожний момент часу перебуває лише в одному з наперед визначених станів та змінює свій стан під впливом зовнішніх подій або внутрішніх умов. Основною особливістю кінцевого автомата є наявність скінченної множини станів, переходів між ними та набору дій, що виконуються під час зміни стану або перебування в ньому. Такий підхід широко використовується під час проектування систем автоматизованого керування, оскільки дозволяє формалізувати логіку роботи обладнання та спростити реалізацію складних алгоритмів керування.

У системах числового програмного керування кінцеві автомати застосовуються для реалізації логіки роботи окремих функціональних вузлів верстата. До таких вузлів належать система керування координатними осями, шпиндель, механізм зміни інструмента, система мастильно-охолоджувальної рідини, блок живлення та інші допоміжні пристрої. Для кожного з них визначається набір робочих станів, умов переходу між станами та перелік керуючих дій, що забезпечують коректне виконання технологічного процесу.

Структура програмного забезпечення, наведена на рисунку 3.2, реалізує керування фізичними пристроями верстата за допомогою логічних пристроїв, які представляють програмну модель відповідного обладнання. Кожний логічний пристрій взаємодіє з апаратними засобами через інтерфейси введення-виведення та формує керуючі сигнали відповідно до поточного стану кінцевого автомата. Завдяки цьому забезпечується узгоджена робота програмної та апаратної частин системи керування.

Логічні пристрої функціонують на рівні реального часу та виконують безпосереднє керування окремими виконавчими механізмами верстата. Обмін інформацією між ними здійснюється через внутрішні програмні інтерфейси та механізми передачі повідомлень. Така організація дозволяє розподілити функції керування між окремими модулями, підвищити надійність програмного забезпечення та спростити його подальшу модернізацію.

Застосування принципів кінцевих автоматів під час розроблення системи керування логічними пристроями дозволяє забезпечити передбачуваність роботи обладнання, зменшити ймовірність виникнення програмних помилок та підвищити безпечність експлуатації металорізального верстата.

### **3.2 Розробка алгоритму та програмного забезпечення для керування логічним автоматом пристрою «Блок живлення»**

Для формалізації логіки роботи системи керування доцільно представити функціонування логічного пристрою у вигляді кінцевого автомата станів. Кожному режиму роботи відповідає окремий стан системи, а перехід між станами виконується при виникненні визначених подій або виконанні відповідних умов.

Таблиця 3.1 – Основні стани логічного автомата системи керування

<b>Позначення стану</b>	<b>Назва стану</b>	<b>Опис стану</b>
S0	Вимкнений стан	Живлення системи відсутнє, виконавчі механізми знеструмлені, керування недоступне.
S1	Ініціалізація	Після подачі живлення виконується перевірка працездатності системи, тестування апаратних модулів та завантаження службових параметрів.
S2	Готовність	Система успішно завершила самодіагностику та готова до приймання команд оператора.
S3	Робочий режим	Виконується обробка керуючої програми та керування виконавчими механізмами верстата.

S4	Режим очікування	Виконання програми тимчасово призупинено за командою оператора або відповідно до технологічних умов.
S5	Аварійний стан	Зафіксовано помилку або аварійну ситуацію. Робота верстата зупиняється до усунення несправності.
S6	Завершення роботи	Виконується коректне завершення роботи системи та переведення обладнання у безпечний стан перед вимкненням живлення.

Переходи між наведеними станами виконуються відповідно до алгоритму функціонування системи керування та визначаються командами оператора, сигналами датчиків, результатами самодіагностики і поточним станом технологічного процесу.

Робота логічного автомата починається зі стану «Ініціалізація», в якому виконуються скидання вихідних сигналів та перевірка основних умов запуску системи. До таких умов належать наявність живлення 24 В, сигнал готовності ЧПК та відсутність спрацювання кнопки аварійного вимкнення.

Після підтвердження готовності система переходить до процедури ввімкнення блока живлення. У цьому стані формується команда на ввімкнення верстата та запускається програмна затримка, необхідна для стабілізації живлення та коректної ініціалізації обладнання.

Після завершення затримки виконується перевірка результатів запуску. Якщо всі контрольовані сигнали перебувають у допустимому стані, логічний автомат переходить до режиму ввімкнення верстата та контролю готовності обладнання. У випадку виявлення несправностей виконується перехід до аварійного стану.

Аварійний стан призначений для блокування подальшої роботи системи та формування повідомлення про помилку. Причиною переходу можуть бути несправності живлення, відсутність сигналів готовності або спрацювання захисних механізмів.

Для завершення роботи використовується окрема процедура вимкнення. У цьому режимі відбувається послідовне скасування команд увімкнення, формування сигналу вимкнення та контроль правильності завершення всіх операцій. Після успішного завершення процедури система повертається до початкового режиму очікування.

На початковому етапі роботи система переходить у стан 0 – «Ініціалізація». У цьому стані виконується скасування всіх вихідних сигналів керування та встановлюється сигнал готовності системи ЧПК. Одночасно здійснюється контроль основних умов безпечного запуску обладнання, зокрема наявності сигналу готовності ЧПК, напруги живлення 24 В та стану кнопки аварійного вимкнення. У разі виконання всіх умов автомат переходить до наступного стану роботи. Якщо хоча б одна з умов не виконується, система залишається в режимі ініціалізації або переходить до аварійного стану.



Рисунок 3.3 – Алгоритм ініціалізації блока живлення

Після завершення етапу ініціалізації логічний автомат переходить до стану увімкнення блока живлення. У цьому режимі формується команда на ввімкнення верстата та скасовується команда вимкнення. Для забезпечення коректного запуску використовується програмна затримка Delay0, яка дозволяє стабілізувати сигнали живлення перед переходом до наступного стану. Додатково здійснюється контроль сигналів аварій та справності електричних кіл.

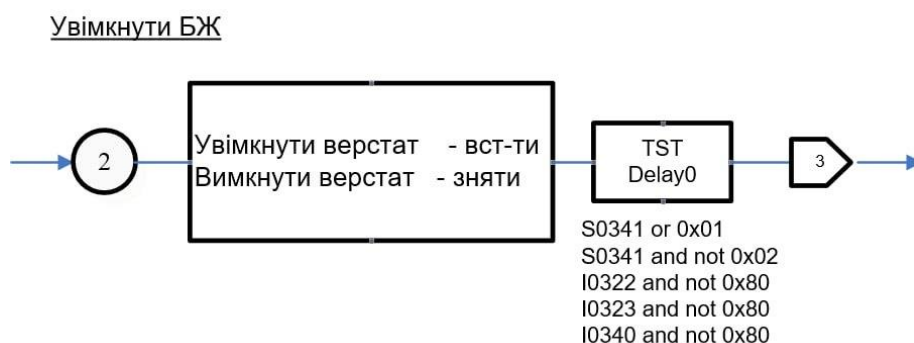


Рисунок 3.4 – Стан увімкнення блока живлення

Після завершення затримки виконується контроль результатів увімкнення верстата. Логічний автомат аналізує стан вхідних сигналів та визначає подальший маршрут виконання алгоритму. За умови успішного запуску відбувається перехід до робочого режиму. У разі виявлення невідповідності контрольованих параметрів система переводиться до аварійного стану.

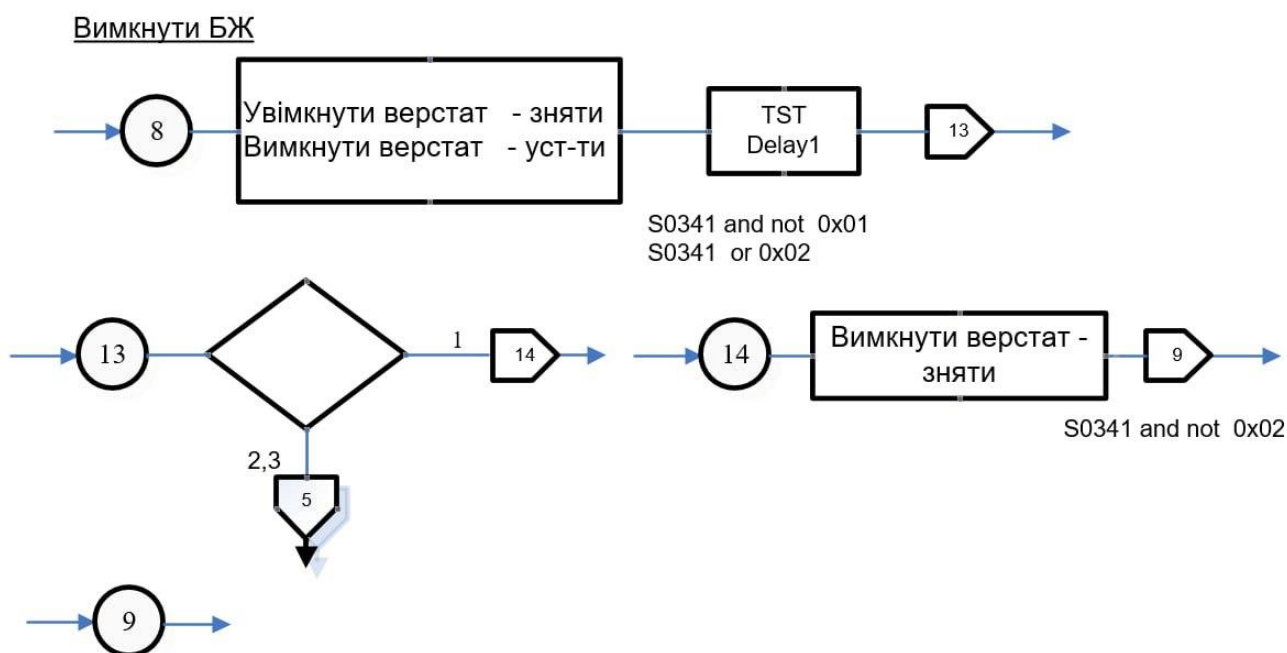


Рисунок 3.5 – Перевірка завершення процедури запуску верстата

У стані 4 формується команда на ввімкнення верстата шляхом скасування сигналу вимкнення. Після активації відповідних вихідних сигналів логічний автомат переходить до контролю готовності обладнання. На даному етапі



Після завершення затримки логічний автомат перевіряє стан вихідних сигналів та формує команду остаточного вимкнення верстата. У разі успішного виконання процедури система переходить у початковий стан очікування. Такий підхід забезпечує контрольоване завершення роботи технологічного обладнання та підвищує надійність функціонування системи керування.

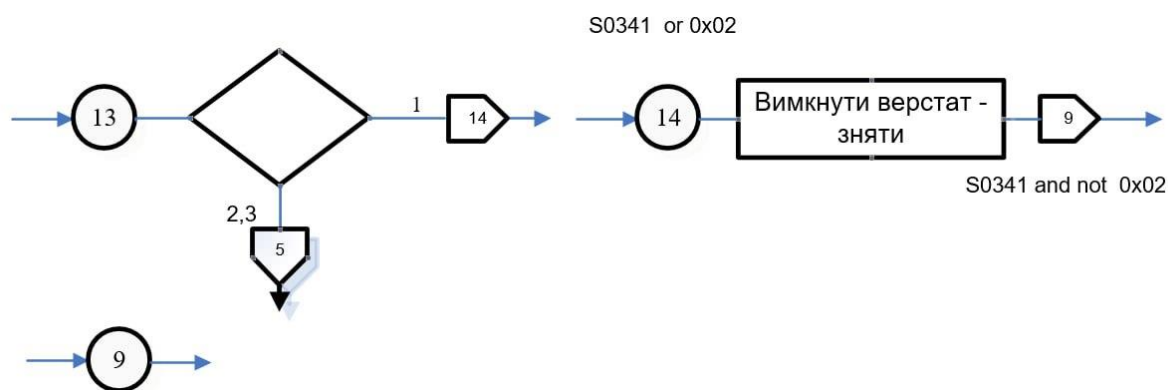


Рисунок 3.9 – Завершення процедури вимкнення верстата

### 3.3 Тестування алгоритмів та програмного забезпечення

Тестування алгоритмів та програмного забезпечення для керування електроавтоматикою здійснювалося в процесі налаштування системи ЧПК модернізованого токарного верстата. На рисунку 3.10, а) показано блок керування системи ЧПК, встановлений в електрошафі верстата. Нижній рівень ЧПК здійснює керування електроавтоматикою шляхом видачі команд до блоку реле (рисунок 3.10, б)).

На рисунку 3.11 показана модернізована система живлення верстата, що складається з пускача (п1), автоматів захисту (п2), трансформатора (п3) та пристрою електронного перетворення рівня напруги силового живлення (п4).

Трансформатор забезпечує гальванічно роз'єдане живлення 220 В для системи ЧПУ та живлення котушок керування пускачів. Електронний блок живлення (п4) забезпечує перетворення трифазної напруги 380 В у трифазну напругу 220 В, необхідну для роботи сервопідсилювачів.

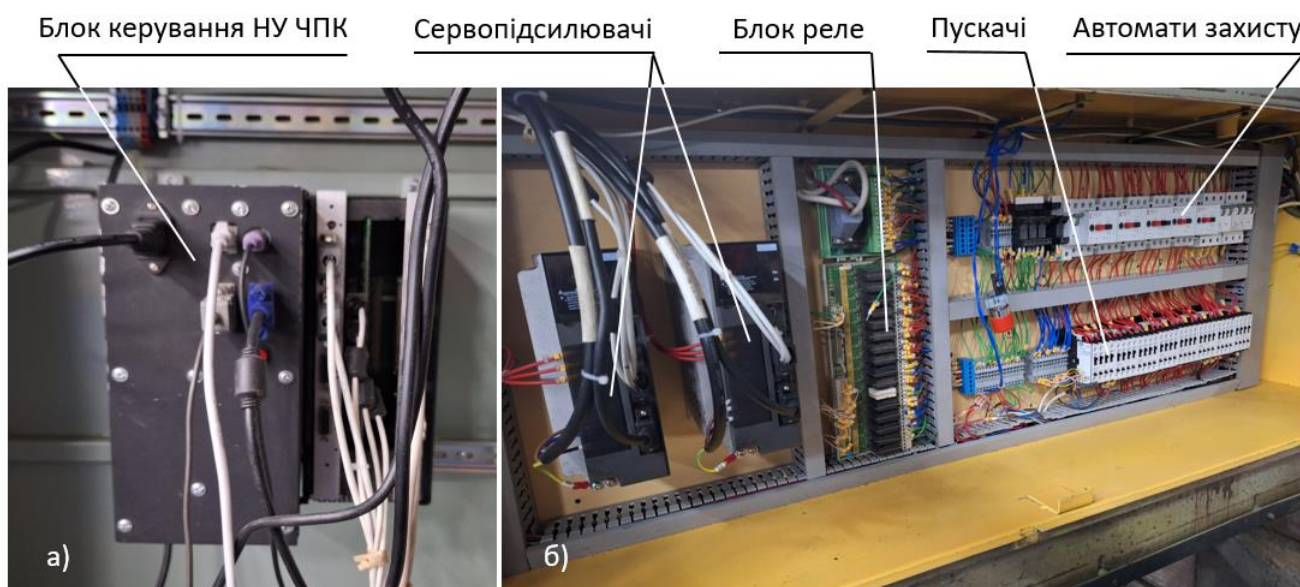


Рисунок 3.10 – Система керування, встановлена в шафі верстата: а) блок керування — нижній рівень системи ЧПК; б) електроавтоматика та сервопідсилювачі.

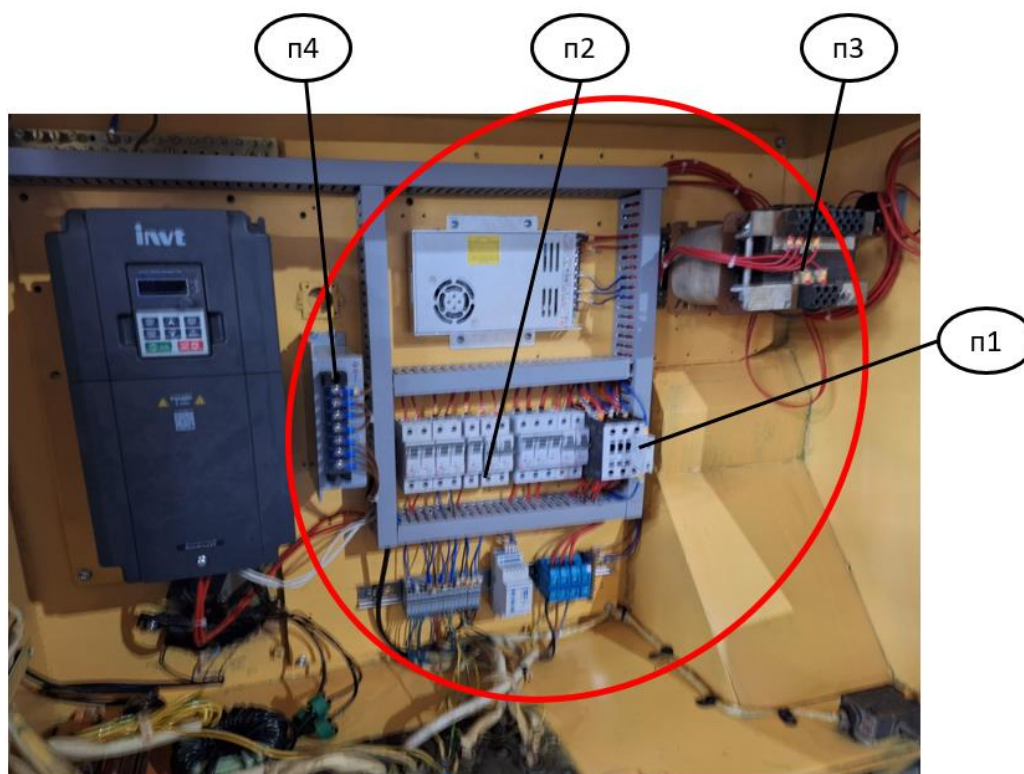


Рисунок 3.11 – Система живлення верстата

Відповідно до схеми, наведеної на рисунку 3.1, нижній рівень ЧПК забезпечує можливість реєстрації параметрів процесу функціонування ЧПК та

обладнання, що ним керується. Дані, збережені в процесі такого тестування, використовувалися для налагодження алгоритмів та програмного забезпечення, представленого в цьому розділі. На рисунку 3.12 продемонстровано часові діаграми зміни сигналів керування та параметрів стану керованих пристроїв у різних режимах роботи тестованого автомата. Часові затримки переходів між станами під час налагодження розробленого ПЗ обиралися відповідно до реальних затримок спрацьовування застосованих пристроїв.

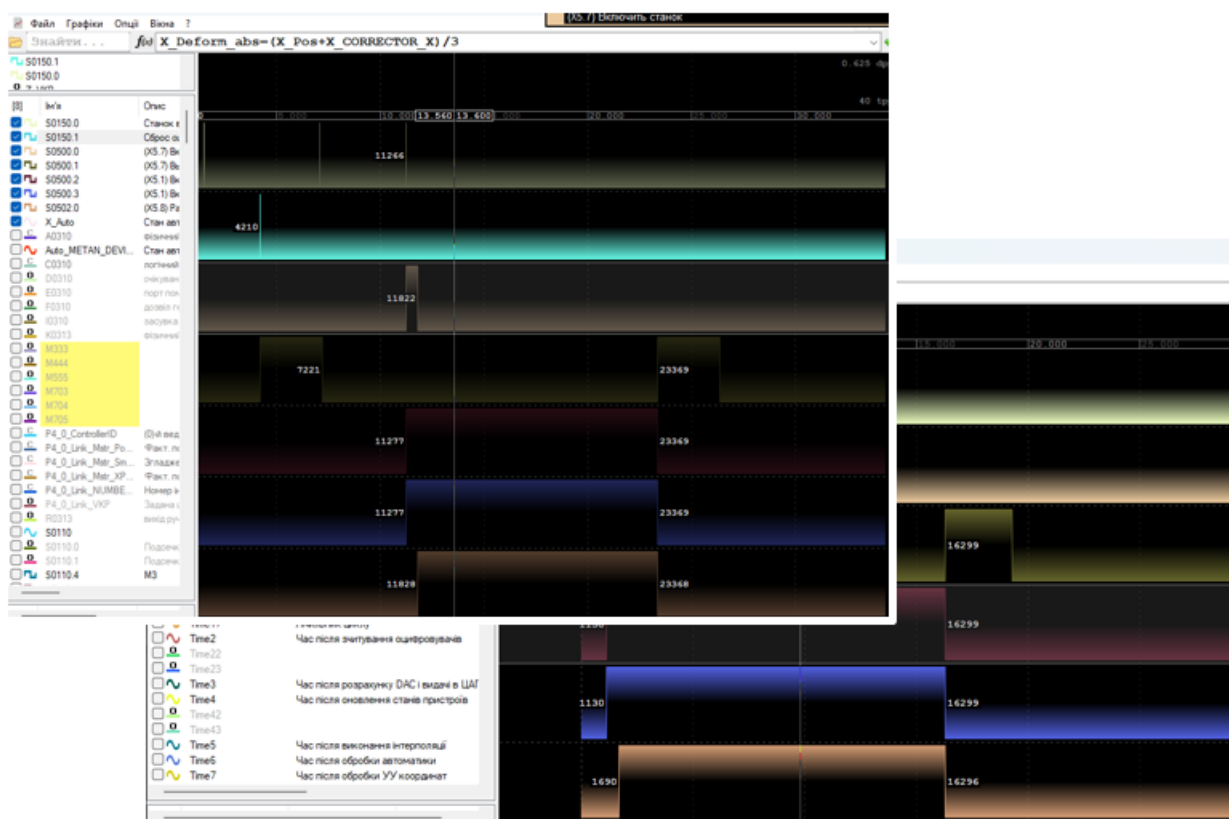


Рисунок 3.12 – Діаграми зміни сигналів системи автоматки, отримані під час тестування розробленого програмного забезпечення

Таким чином було розроблено алгоритм керування системою живлення верстата, а також програмне забезпечення, інтегроване в систему ЧПК. Під час тестування в процесі налагодження верстата було підтверджено працездатність запропонованого алгоритму.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці**

Охорона праці є важливою складовою організації сучасного виробництва та спрямована на забезпечення безпечних умов праці, збереження життя і здоров'я працівників у процесі виконання виробничої діяльності [22]. В умовах автоматизації виробництва та широкого використання обладнання з числовим програмним керуванням питання безпечної експлуатації виробничого обладнання набувають особливого значення [23].

#### **Основні законодавчі акти в галузі охорони праці**

В Україні система забезпечення охорони праці ґрунтується на чинній нормативно-правовій базі, яка регламентує безпечні умови праці, права та обов'язки працівників і роботодавців, а також вимоги до організації виробничих процесів. Основними нормативними документами у сфері охорони праці є:

- Кодекс законів про працю України, який визначає основні положення трудового законодавства та регулює питання забезпечення безпечних і належних умов праці;
- Закон України «Про охорону праці», що встановлює правові, організаційні та соціально-економічні засади функціонування системи охорони праці на підприємствах різних форм власності;
- державні стандарти України (ДСТУ), які містять нормативні вимоги щодо безпеки праці, технічної документації, виробничого обладнання та організації технологічних процесів, зокрема ДСТУ 3008:2015, що регламентує правила оформлення технічної документації.

Під час експлуатації токарних верстатів з ЧПК оператор взаємодіє з електромеханічними системами, рухомими елементами обладнання, системами автоматичної зміни інструменту та електронними пристроями керування. У зв'язку з цим виникає необхідність забезпечення комплексного підходу до організації безпечних умов праці, що включає технічні, організаційні та ергономічні заходи захисту. Особливу увагу необхідно приділяти безпечності взаємодії оператора з пультом числового програмного керування, правильному розміщенню органів керування та наявності систем аварійного вимкнення обладнання.

Правові та організаційні основи охорони праці в Україні регламентуються чинним законодавством та нормативно-технічними документами у сфері безпеки праці. Основними нормативними документами є Кодекс законів про працю України, Закон України «Про охорону праці», а також державні стандарти України та нормативні акти з безпечної експлуатації виробничого обладнання.

### **Положення Кодексу законів про працю України**

Кодекс законів про працю України містить нормативні положення, спрямовані на забезпечення безпечних умов праці та захисту працівників у процесі виконання виробничої діяльності [15]. Відповідно до статті 153 КЗпП України роботодавець зобов'язаний забезпечувати безпечні та нешкідливі умови праці відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів і державних стандартів у сфері охорони праці.

Згідно зі статтею 154 КЗпП України допуск працівників до виконання виробничих обов'язків можливий лише після проходження відповідного інструктажу з охорони праці та ознайомлення з правилами безпечної експлуатації обладнання. Проведення інструктажів спрямоване на попередження виробничого травматизму та забезпечення належного рівня безпеки працівників.

Крім того, статтею 155 КЗпП України передбачено необхідність проведення атестації робочих місць з метою оцінки умов праці, визначення наявності небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також розроблення заходів щодо покращення умов праці та зниження рівня професійних ризиків.

## **Закон України "Про охорону праці"**

Закон України "Про охорону праці" визначає основні принципи державної політики в галузі охорони праці" [25], серед яких:

- **Пріоритет життя і здоров'я працівників над результатами виробничої діяльності;**
- **Соціальний захист працівників:** Держава гарантує соціальний захист працівників, які зазнали впливу шкідливих умов праці;
- **Відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці.**

Відповідно до вимог трудового законодавства України роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні та нешкідливі умови праці, організувати проведення інструктажів з охорони праці, здійснювати контроль технічного стану обладнання та забезпечувати працівників необхідними засобами індивідуального захисту. Крім того, на підприємстві повинні проводитися заходи щодо попередження виробничого травматизму та професійних захворювань. [29]

Закон України «Про охорону праці» визначає основні принципи державної політики у сфері охорони праці, серед яких пріоритет життя та здоров'я працівників, відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці та забезпечення соціального захисту працівників. Закон також передбачає створення системи управління охороною праці на підприємстві, проведення навчання персоналу, інструктажів та перевірок знань з питань безпеки праці. [30]

Оскільки система числового програмного керування та пульт оператора працюють із використанням електронного та електротехнічного обладнання, важливими складовими забезпечення безпеки є:

- захист від ураження електричним струмом;
- використання заземлення обладнання;
- застосування кнопок аварійного вимкнення;
- контроль технічного стану електрообладнання;
- дотримання вимог пожежної безпеки.

Під час проектування пульта числового програмного керування токарного верстата 16K20 особлива увага приділялась ергономічності конструкції та безпечності роботи оператора. Конструкцією передбачено логічне групування елементів керування, наявність аварійної кнопки вимкнення, а також зручне розташування органів керування на лицьовій панелі пульта. Це дозволяє зменшити ймовірність помилкових дій оператора та підвищити безпечність експлуатації обладнання.

Таким чином, забезпечення охорони праці під час експлуатації токарних верстатів із системою числового програмного керування є важливою складовою сучасного виробництва та потребує комплексного врахування організаційних, технічних та ергономічних вимог.

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

Об'єктом дослідження у даній роботі є виробнича дільниця, на якій використовується токарний верстат 16K20, оснащений системою числового програмного керування та пультом оператора. Робоче місце оператора призначене для виконання операцій механічної обробки деталей, налагодження обладнання та контролю процесу обробки.

Виробниче приміщення повинно відповідати вимогам безпечної експлуатації металорізального обладнання та забезпечувати:

- достатній рівень освітлення;
- наявність вентиляції;
- вільний доступ до органів керування;
- можливість безпечного обслуговування обладнання;
- дотримання вимог пожежної безпеки.

Під час роботи оператор взаємодіє з рухомими елементами верстата, електрообладнанням, пультом числового програмного керування та системою автоматичної зміни інструменту. У процесі обробки деталей можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що потребують застосування відповідних заходів захисту.

Особливу увагу під час експлуатації обладнання необхідно приділяти безпечності роботи із рухомими частинами верстата, електробезпеці, захисту від металевої стружки, шуму та вібрацій, наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Потенційні небезпеки під час експлуатації токарного верстата з ЧПК

<b>Небезпечний фактор</b>	<b>Причина виникнення</b>	<b>Можливі наслідки</b>
Рухомі частини верстата	Обертання шпинделя та супорта	Травмування оператора
Металева стружка	Процес різання металу	Пошкодження шкіри та очей
Електричний струм	Пошкодження ізоляції	Ураження струмом
Шум	Робота приводу та шпинделя	Погіршення слуху
Вібрації	Робота механізмів	Втома оператора
Пожежа	Коротке замикання	Пошкодження обладнання
МОР	Контакт із хімічними речовинами	Подразнення шкіри
Перебої електроживлення	Аварійні ситуації	Небезпечне вимкнення обладнання

#### **4.2.1. Механічні небезпеки**

До механічних небезпек належать:

- обертання шпинделя;
- рухомі частини верстата;
- переміщення супорта;
- різальний інструмент;
- утворення металевої стружки.

Під час роботи існує ризик травмування оператора внаслідок контакту з рухомими елементами обладнання або потрапляння у робочу зону верстата. Особливу небезпеку становить гаряча металева стружка, яка може спричинити механічні та термічні травми. [32]

#### **4.2.2. Електричні небезпеки**

Система числового програмного керування та пульт оператора працюють із використанням електрообладнання та силових електричних кіл. Основними небезпеками є:

- ураження електричним струмом;
- пошкодження ізоляції;
- коротке замикання;
- перегрів електрообладнання.

Для зниження ризику ураження електричним струмом необхідно забезпечити заземлення обладнання та проводити регулярний контроль технічного стану електросистем. [34]

#### **4.2.3. Теплові небезпеки**

У процесі механічної обробки металів різальний інструмент та заготовка можуть нагріватися до високих температур. Крім того, гаряча стружка, що утворюється під час різання металу, може спричинити термічні ураження шкіри оператора.

#### **4.2.4. Хімічні небезпеки**

Мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) можуть містити шкідливі хімічні сполуки, що можуть спричинити подразнення шкіри, очей або дихальних шляхів.

#### **4.2.5. Шумове навантаження**

Робота електроприводів, шпинделя та різального інструменту супроводжується шумом і вібраціями, які можуть негативно впливати на самопочуття та працездатність оператора.

#### **4.2.2.6 Пожежна безпека**

Під час експлуатації обладнання існує ризик виникнення пожежі внаслідок:

- короткого замикання;
- перевантаження електромережі;
- перегріву електрообладнання;
- пошкодження кабельних з'єднань.

#### **4.2.2.7 Воєнні та надзвичайні ризики**

В умовах сучасної ситуації в Україні додаткову небезпеку становлять:

- перебої електропостачання;
- повітряні тривоги;
- аварійне вимкнення обладнання;
- можливість виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

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

Процедура оцінки ризику є важливою складовою системи управління охороною праці та дозволяє визначити потенційні небезпеки, оцінити ймовірність їх виникнення, можливі наслідки для працівників, а також розробити заходи щодо зниження рівня виробничих ризиків. Проведення оцінки ризиків під час експлуатації токарного верстата з числовим програмним керуванням є необхідним для забезпечення безпечних умов праці оператора та надійної роботи обладнання.

Оцінка ризику включає такі основні етапи:

- ідентифікацію небезпек;
- аналіз причин виникнення небезпечних ситуацій;

- визначення ймовірності виникнення небезпеки;
- оцінку можливих наслідків;
- розроблення заходів щодо зниження ризику;
- контроль ефективності впроваджених заходів безпеки.

Під час експлуатації токарного верстата 16K20 з системою ЧПК найбільш небезпечними факторами є:

- контакт із рухомими частинами обладнання;
- ураження електричним струмом;
- вплив металевої стружки;
- шум та вібрації;
- можливість виникнення пожежі;
- контакт із мастильно-охолоджувальними рідинами.

Для оцінки рівня небезпеки використано матрицю оцінки ризиків, яка враховує ймовірність виникнення небезпечної ситуації та тяжкість можливих наслідків.

Таблиця 4.2 – Матриця оцінки ризиків

Небезпечна ситуація	Категорія наслідків	Ймовірність виникнення	Рівень ризику
Контакт із рухомими частинами верстата	Травмування кінцівок	Низька	Середній
Поломка різального інструменту	Ураження очей та шкіри	Середня	Середній
Ураження електричним струмом	Ураження органів та м'язів	Низька	Високий
Контакт із гарячою стружкою	Термічні опіки	Середня	Середній
Контакт із мастильно-охолоджувальною рідиною	Подразнення шкіри та очей	Середня	Низький
Підвищений рівень шуму	Погіршення слуху	Висока	Середній
Пожежа електрообладнання	Пошкодження обладнання та загроза персоналу	Низька	Високий

Для зниження ризику механічного травмування необхідно:

- використовувати захисні кожухи;
- дотримуватись безпечної дистанції під час роботи верстата;
- проводити навчання персоналу;
- використовувати засоби індивідуального захисту.

Для захисту оператора від ураження електричним струмом необхідно:

- забезпечити заземлення обладнання;
- проводити регулярний контроль стану електропроводки;
- використовувати системи аварійного вимкнення;
- перевіряти справність електрообладнання перед початком роботи.

Для запобігання термічним травмам необхідно:

- використовувати захисний одяг;
- застосовувати захисні екрани;
- уникати контакту з гарячою стружкою та нагрітими поверхнями.

Для зниження впливу хімічних факторів рекомендується:

- використовувати вентиляцію;
- проводити своєчасну заміну мастильно-охолоджувальних рідин;
- застосовувати рукавички та захисні окуляри.

Для захисту від шуму та вібрацій необхідно використовувати засоби індивідуального захисту слуху та забезпечити належний технічний стан обладнання.

Особлива увага під час проектування пульта керування приділялась безпечності взаємодії оператора з обладнанням. На пульті передбачено кнопку аварійного вимкнення, логічне групування елементів керування та зручне розташування основних органів керування, що дозволяє знизити ймовірність помилкових дій оператора та підвищити безпечність експлуатації верстата. [25]

## Висновки

У даному розділі було розглянуто організаційно-правові основи забезпечення охорони праці під час експлуатації токарного верстата з числовим програмним керуванням. Проаналізовано основні нормативно-правові акти України у сфері охорони праці та вимоги щодо забезпечення безпечних умов праці на виробництві.

У процесі виконання розділу було проведено характеристику об'єкта проектування та визначено основні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час роботи з токарним обладнанням. Зокрема, проаналізовано механічні, електричні, теплові, хімічні та пожежні небезпеки, а також вплив шуму та вібрацій на оператора.

Проведено оцінку ризиків реалізації потенційних небезпек із використанням матриці оцінки ризиків, визначено можливі наслідки небезпечних ситуацій та рівні ризику. На основі проведеного аналізу запропоновано комплекс заходів щодо підвищення безпечності експлуатації обладнання, зниження рівня виробничих ризиків та покращення умов праці оператора.

Особливу увагу приділено питанням електробезпеки, використанню засобів індивідуального захисту, застосуванню аварійного вимкнення та ергономічності пульта числового програмного керування, що дозволяє підвищити рівень безпеки під час експлуатації токарного верстата 16K20.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи було розроблено конструкцію пульта керування токарного верстата з числовим програмним керуванням, яка враховує сучасні вимоги до ергономіки робочого місця оператора, зручності експлуатації та можливості інтеграції із системою керування верстатом. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують раціональне розміщення органів керування, засобів індикації та елементів електронного обладнання.

Для перевірки прийнятих конструктивних рішень та підготовки конструкторської документації створено тривимірну модель пульта у середовищі SolidWorks. Розроблена модель дозволила виконати компонування основних вузлів і елементів системи, оцінити взаємне розташування складових частин конструкції та забезпечити можливість подальшого вдосконалення виробу на етапах проектування і виготовлення.

У ході роботи також було досліджено структуру апаратної та програмної частин системи керування. Розроблено логічний автомат керування блоком живлення, а також алгоритми переходів між робочими станами системи та алгоритми реагування на аварійні ситуації. Запропоновані програмні рішення забезпечують функціонування системи керування, а модульний принцип побудови створює передумови для подальшого розширення функціональних можливостей пульта та його адаптації до різних конфігурацій технологічного обладнання. Результати роботи було використано для модернізації токарного верстата 16K20 на ТОВ «Альфа Композіт».

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Степчин Я. А., Отаманський В. В. Аналіз та вдосконалення алгоритмів модульного принципу створення металорізальних верстатів з ЧПК. *Технічна інженерія*. 2020. № 1(85). С. 23–29. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-1\(85\)-23-29](https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-23-29) (дата звернення: 20.05.2026).
2. Числове програмне керування. Wikimedia Commons / Wikipedia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Числове\\_програмне\\_керування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Числове_програмне_керування) (дата звернення: 16.06.2026)
3. Want.net. Vertical Milling Machine Operation: Essential Steps for Accurate Machining. URL: <https://www.want.net/uk/blogs/vertical-milling-machine-operation-essential-steps-for-accurate-machining/> (дата звернення: 16.06.2026)
4. Храпай Р. Г. Програмна модернізація зношеної системи координатних рухів для ЧПК верстату : thesis. 2018. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/67836> (дата звернення: 20.05.2026).
5. Pasov H., Venzheha V., Rudyk A. Training simulator of robotic technological complex on the basis of cnc lathe. *Technical sciences and technologies*. 2017. No. 1(7). P. 42–50. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-1\(7\)-42-50](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-1(7)-42-50) (date of access: 20.05.2026).
6. Муляр Ю. І., Дерібо О. В. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 91 с
7. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації: навчальний посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. 268 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0053800.pdf> (дата звернення: 21.06.2026).

8. Левицький С. М., Розводюк М. П. Елементи систем автоматизації та електроприводу: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 152 с. URL: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Levitskii\\_2013\\_152.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2025/Levitskii_2013_152.pdf) (дата звернення: 21.06.2026).
9. Солоха В. В., Івченко Л. Ю., Бойко І. А., Обладнання та технологія зварювального виробництва: навчальний посібник. Кам'янське: КГЕМТ, 2021. 142 с. URL: [http://www.kgemt.org.ua/pdf/about\\_colege/library\\_fund/vv\\_solokha\\_ly\\_ivshchenko\\_ia\\_boyko\\_vyu\\_obladnannya\\_\\_kn9zwh6vgh.pdf](http://www.kgemt.org.ua/pdf/about_colege/library_fund/vv_solokha_ly_ivshchenko_ia_boyko_vyu_obladnannya__kn9zwh6vgh.pdf) (дата звернення: 21.06.2026).
10. STYLECNC. Automatic Tool Changer CNC Router Center. URL: <https://uk.stylecnc.com/cnc-working-center/Automatic-Tool-Changer-CNC-Router-Center.html> (дата звернення: 10.06.2026)
11. Кальченко В. В., Пасов Г. В., Венжега В. І. Верстати з ЧПК та ВК. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Верстати з числовим програмним керуванням та верстатні комплекси»: методичне видання. Чернігів: ЧНТУ, 2019. 96 с. URL: [http://www.kgemt.org.ua/pdf/about\\_colege/library\\_fund/kalchenko\\_vv\\_pasov\\_hv\\_verstaty\\_z\\_chpk\\_ta\\_vk\\_metody\\_nblloyrebu.pdf](http://www.kgemt.org.ua/pdf/about_colege/library_fund/kalchenko_vv_pasov_hv_verstaty_z_chpk_ta_vk_metody_nblloyrebu.pdf) (дата звернення: 21.06.2026).
12. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 4th ed. Boston : Pearson, 2016. 811 p.
13. Solidworks 2019. *Eureka!*. 2018. Vol. 38, no. 12. P. 6. URL: [https://doi.org/10.12968/s0261-2097\(23\)60062-0](https://doi.org/10.12968/s0261-2097(23)60062-0) (date of access: 20.05.2026).
14. CNC systems [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.fagorautomation.com/en/p/cnc/>

15. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://asutp.in.ua/wp-content/uploads/2019/12/ebook\\_automatizacija\\_tehnologichnih\\_procesiv\\_i\\_sistem\\_avtomatichnogo\\_keruvannya.pdf](https://asutp.in.ua/wp-content/uploads/2019/12/ebook_automatizacija_tehnologichnih_procesiv_i_sistem_avtomatichnogo_keruvannya.pdf)
16. Види верстатів ЧПК [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://analytic.ub.ua/28842-vidy-stankov-chpu.html>
17. Підсистема керування верстата з ЧПК [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://vseosvita.ua/lesson/pidsistema-keruvannia-verstata-z-chpk-452874.html>
18. Опис G та M кодів для програмування ЧПУ (CNC) верстатів [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://3d-stanki.ru/spravochnik/programmnoe-obespechenie-dlya-stankov-s-chpu/opisanie-g-i-m-kodov-dlya-programmirovaniya-chpu-cnc-stankov-2/>
19. Числове програмне управління - основні характеристики [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://sitelab-15.dss-bi.com.ua/index.php/statti/4-chyslove-prohramne-upravlinnia-osnovni-kharakterystyky>
20. Числове програмне керування [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.wikidata.uk-ua.nina.az/%D0%A7%D0%9F%D0%9A.html>
21. Tsyganov V. V., Matvieienko L. S. Вплив полімеру мастильно-охолоджувальної рідини на ефективність обробки металу різанням. Технологические системы. 2019. № 85/4. URL: <https://doi.org/10.29010/085.3> (дата звернення: 29.05.2026).
22. Охорона праці: обов'язки роботодавців і працівників [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://berislav-mr.gov.ua/news/ohorona-pratsi-obov-yazky-robotodavtsiv-i-pratsivnykiv/>

23. A L. Implementation of the provisions of the law of Ukraine «on the fundamentals of national resistance» through the adaptation of the discipline program «safety of labor in the industry and civil defense» in ntu to the requirements of the martial state. The national transport university bulletin. 2022. Vol. 3, no. 53. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-3-53-240-247> (date of access: 23.05.2026).
24. Загальні питання охорони праці [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://vseosvita.ua/lesson/vstupzahalni-pytannia-okhorony-pratsi-13974.html>
25. Інструкція з охорони праці № 136 ДЛЯ ОПЕРАТОРА ВЕРСТАТІВ З ЧПК [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://dnzkvpu.org.ua/news/15-01-44-03-09-2022/>
26. Оцінювання ризиків і контроль ризиків. Базовий рівень [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/genericdocument/wcms\\_869684.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/genericdocument/wcms_869684.pdf)
27. Управління ризиками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://dSPACE.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/6468/1/6783-11346-2-PB.pdf>
28. Грищук М. В. Основи охорони праці : підруч. для студентів вищ. навч. закл. Київ : Кондор, 2005. 240 с.
29. Законодавство України про охорону праці. Київ, 1995. Т. 4. 384 с.
30. Кодекс законів про працю України : чин. законодавство зі змін. та допов. станом на 9 листоп. 2010 р. : (офіц. текст). Київ : ПАЛИВОДА А.В., 2010. 104 с.
31. Про затвердження Правил охорони праці під час електрохімічної обробки металів : Наказ М-ва енергетики та вугіл. пром-сті України від 13.02.2014 № 148. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0432-14#Text> (дата звернення: 23.05.2026).

32. Про затвердження Правил охорони праці під час електрохімічної обробки металів : Наказ М-ва енергетики та вугіл. пром-сті України від 13.02.2014 № 148. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0432-14#Text> (дата звернення: 23.05.2026).
33. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінка ризику та зниження ризику. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 35 с.
34. Сивко В. Й. Розрахунки з охорони праці : Навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2001. 152 с.
35. Kalpakjian S., Schmid S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*. 8th ed. Pearson Education, 2020. 1350 p.
36. Bolton W. *Programmable Logic Controllers*. 7th ed. Oxford : Newnes, 2021. 384
37. Petruzella F. D. *Programmable Logic Controllers*. 6th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2020. 432 p.
38. Siemens AG. *SINUMERIK 840D sl Fundamentals Programming Manual*. Nuremberg : Siemens, 2023. 620 p.

## Додаток А Код програми логічного автомата «Блок живлення»

```

//блок живлення !!!!! Тільки для контролера ICD !!!!!!!!!!!!!
// ЗАСТОСОВАНИЙ у верстатах:
//16K20_3
#define C_BP_Port          C0500          // Логічний порт ВХІДНИХ
СИГНАЛІВ
#define D_BP_Port          D0500
#define I_BP_Port          I0500
#define F_BP_Port          F0500
#define E_BP_Port          E0500
// #PORT_IN
#define BP_MASHIN_PWR_CHECK 0x01 // 0000 0001// 0500.0
Контроль увімкнення живлення верстата
#define BP_EMERGENCY        0x02 // 0000 0010          // 0500.1          Аварійна
кнопка
#define BP_bEMERGENCY        1          // 0000 0010          // 0500.1          біт
Аварійна кнопка
#define BP_SERVO_PWR_CHECK 0x04 // 0000 0100// 0500.2          Увімкнено
пускач приводів подач
#define S_BP_Port          S0500          // Логічний порт ВИХІДНИХ
СИГНАЛІВ
// #PORT_OUT
#define BP_POWER_ON          0x01 // 0000 0001// 0500.0          ()
Увімкнути верстат
#define BP_POWER_OFF        0x02 // 0000 0010// 0500.1          () Вимкнути
верстат
#define BP_PWR_SERVO_ON      0x04 // 0000 0100// 0500.2          ()
Увімкнення живлення приводів X,Z
#define BP_SPINDEL_Presence 1          // 0-немає шпинделя; 1-є увімкнення
шпинделя в БЖ
#define BP_PWR_SPINDEL_ON    0x08 // 0000 1000// 0500.3          () Увімкнення
живлення приводів S
#define BP_DELAY_EMERGENCY_ON DELAY4
#define BP_DELAY_Waiting_ON  DELAY0
#define BP_DELAY_Chatter_ON  DELAY2
#define BP_DELAY_Off          DELAY5
BEGIN_ERROR_ICD(a_bp)
    #ifdef __TEST_MODE__
        E=0;
    #else
        E=0;
        if ((E_BP_Port & BP_EMERGENCY)==BP_EMERGENCY)
E=SIG_BP_ALL_STOP;// Аварійна кнопка

```

```

        if ((E_BP_Port &
BP_SERVO_PWR_CHECK)==BP_SERVO_PWR_CHECK) E =
SIG_BP_CRASH_1; // Контроль увімкнення пускачів приводів подач БЖ
        if ((E_BP_Port &
BP_MASHIN_PWR_CHECK)==BP_MASHIN_PWR_CHECK) E =
SIG_BP_CRASH; // Контроль увімкнення верстата
        if ((E_BP_Port &
BP_SERVO_Allowing_Control)==BP_SERVO_Allowing_Control) E =
SIG_BP_CRASH_2; // Помилка не відповідає ситуації
    #endif
END_ERROR_ICD

```

```
BEGIN_AUTO_ICD(a_bp)
```

```

if (BP_MASHIN_PWR_Presence == 0) { C_BP_Port Set
BP_MASHIN_PWR_CHECK; } // Якщо сигнал не використовується, то
встановлюємо йому примусово значення = 1

```

```

    SWITCH_AUTO // switch(Device->StateAuto[Number]) зі структури
PMemoryICD

```

```
//----- ініціалізація -----
```

```

// State_Make_Initialize =(0) - Команда "Ініціалізувати";
// 16 - Затримка зняття сигналу вимкнення верстата BP_POWER_OFF
// 17 - Зняття сигналу вимкнення верстата BP_POWER_OFF при
"Ініціалізації", Зняття контролю "Аварійної кнопки"
// State_Initialized =(1) - Стан "Ініціалізовано"

```

```
//----- ініціалізація -----
```

```

CASE_AUTO State_Make_Initialize://0// Команда "Ініціалізувати"
    if(BP_Podxvat_Presence)
        {
            S_BP_Port UnSet(BP_POWER_ON); // 0000 0001
ЗНЯТИ () Увімкнути верстат
            S_BP_Port UnSet(BP_POWER_OFF); // 0000 0010
ЗНЯТИ () Вимкнути верстат
            F_BP_Port UnSet(BP_MASHIN_PWR_CHECK); // 0000 0001
Зняти Дозвіл генерації помилки Контроль увімкнення живлення
верстата
        }
        S_BP_Port UnSet(BP_PWR_SERVO_ON); // 0000 0100 ЗНЯТИ
() Увімкнення живлення приводів X,Z
        F_BP_Port UnSet(BP_SERVO_PWR_CHECK); // 0000 0100 Зняти
Дозвіл генерації помилки "Увімкнено пускач приводів подач"
        if(BP_SPINDEL_Presence)
            {
                S_BP_Port UnSet(BP_PWR_SPINDEL_ON); // 0000 1000
ЗНЯТИ () Увімкнення живлення приводів S
            }

```

```

        F_BP_Port UnSet (BP_EMERGENCY);           //0000 0010 Зняти
Дозвіл генерації помилки за сигналом "Аварійна кнопка"
        D_BP_Port UnSet (BP_EMERGENCY);           //0000 0010 Зняти
Очікуване значення за сигналом "Аварійна кнопка"
        F_BP_Port UnSet (BP_SERVO_Allowing_Control); //0000 1000 Зняти
Дозвіл генерації помилки за сигналом "Контроль Дозволу Роботи"
        D_BP_Port UnSet (BP_SERVO_Allowing_Control); //0000 1000 Зняти
Очікуване значення за сигналом "Контроль Дозволу Роботи"
        STATE_AUTO = State_Initialized; // Стан "Ініціалізовано"
BREAK;
//-----
//----- увімкнути блок живлення -----
// State_Make_On:=(2) - Команда "Увімкнути БЖ" (3)
// (3) - Очікування "нормального" стану аварійної кнопки
// (14) - Видача сигналів УПРАВЛІННЯ
// (15) - Очікування появи сигналів підтвердження увімкнення ЖИВЛЕННЯ
Верстата і Приводів
// (4) - Встановили параметри витримки часу
// (7) - Витримка Антидребезг (немає контролю сигналів)
// (12) - Перехід до стану "Увімкнено на самопідхваті"
// State_On:=(6) - Стан "Увімкнено" з контролем сигналів "Увімкнено пускач
приводів подач"
CASE_AUTO State_Make_On://(2) // Команда "Увімкнути БЖ"
    if(BP_Podxvat_Presence)
    {
        I_BP_Port UnSet(BP_MASHIN_PWR_CHECK); //0000 0001
Зняти Засувка помилок Увімкнено пускач приводів подач
    }
        I_BP_Port UnSet(BP_EMERGENCY);           //0000 0010 Зняти
Засувка помилок "Аварійна кнопка"
        I_BP_Port UnSet(BP_SERVO_PWR_CHECK); //0000 0010 Зняти
Засувка помилок "Увімкнено пускач приводів подач"
        I_BP_Port UnSet(BP_SERVO_Allowing_Control); //0000 0010 Зняти
Засувка помилок "Контроль Дозволу Роботи"
        D_BP_Port Set BP_EMERGENCY;           //0000 0010
Встановити Очікування вхідного стану Аварійная кнопка
(Контроль аварійної кнопки)
        F_BP_Port Set BP_EMERGENCY;           //0000 0010
Встановити Дозвіл генерації помилки
Аварійна кнопка
        SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,BP_DELAY_EMERGENCY_ON,ERROR_
CNT_FAST);// DELAY4
        STATE_AUTO = 3;
BREAK;
CASE_AUTO 3:// Очікування "нормального" стану аварійної кнопки

```

```

//; ST00    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 14
//; ST01    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 14
//; ST10    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 3
//; ST11    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА"      -> 0x05    State_Error
                WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 14, 14, 0x03, State_Error, ONES_REG);
                BREAK;
                CASE_AUTO 14://Видача сигналів УПРАВЛІННЯ
                    S_BP_Port Set BP_POWER_ON;                //0000 0001
                    ВстановитиВихід автомата                Увімкнути
верстат
                    S_BP_Port UnSet(BP_POWER_OFF);            //0000 0010
                    Зняти Виход автомата                Вимкнути
верстат
                    D_BP_Port Set BP_MASHIN_PWR_CHECK;        // 0000 0001
0500.0    ВстановитиОчікування вхідного сигн.    Контроль увімкнення
живлення верстата
                    F_BP_Port Set BP_MASHIN_PWR_CHECK;        // 0000 0001
0500.0    ВстановитиДозвіл генерації помилки        Контроль
увімкнення живлення верстата
                    S_BP_Port Set BP_PWR_SERVO_ON;            //0000 0100
                    ВстановитиВихід автомата                Увімкнення
живлення приводів X,Z
                    if(BP_SPINDEL_Presence){S_BP_Port Set BP_PWR_SPINDEL_ON;}
// 0000 1000Встановити() Увімкнення живлення приводів S
                    D_BP_Port Set BP_SERVO_PWR_CHECK;        //0000 0100
                    ВстановитиОчікування вхідного стану        Увімкнено пускач приводів
подач
                    F_BP_Port Set BP_SERVO_PWR_CHECK;        //0000 0100
                    ВстановитиДозвіл генерації помилки                Увімкнено
пускач приводів подач
                    D_BP_Port Set BP_SERVO_Allowing_Control; //0000 1000
                    ВстановитиОчікування вхідного стану        Контроль Дозволу Роботи
                    F_BP_Port Set BP_SERVO_Allowing_Control; //0000 1000
                    ВстановитиДозвіл генерації помилки                Контроль
Дозволу Роботи
                    D_BP_Port Set BP_EMERGENCY;                //0000 0010
                    ВстановитиОчікування вхідного сигн.    Аварійна кнопка (Контроль
аварійної кнопки)
                    F_BP_Port Set BP_EMERGENCY;                //0000 0010
                    ВстановитиДозвіл генерації помилки                Аварійна кнопка

```

```

    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,BP_DELAY_Waiting_ON,ERROR_CNT_FAST);//DELAY0
        STATE_AUTO = 15;// Очікування Увімкнення (Контроль усіх
сигналів, що підтверджують увімкнення БЖ)
        BREAK;
        CASE_AUTO 15:// Очікування появи сигналів підтвердження увімкнення
ЖИВЛЕННЯ Верстата і Приводів
//; ST00    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 4
//; ST01    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 4
//; ST10    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 15
//; ST11    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА"      -> 0x05
        WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x04, 0x04, 0x0f, State_Error, ONES_REG);
        BREAK;
        CASE_AUTO 4://Встановили параметри витримки часу
        SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,BP_DELAY_Chatter_ON,ERROR_CNT_FAST);
//; ST00    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 7
//; ST01    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 12
//; ST10    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 7
//; ST11    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА"      -> 0x05
        WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x07, 0x0c, 0x07, State_Error, ERROR_CNT_FAST);
        BREAK;
        CASE_AUTO 12:// Перехід до стану "Увімкнено на самопідхваті"
        if(BP_Podxvat_Presence) // Якщо БЖ з САМОПІДХВАТОМ, то
знімаємо вихідний сигнал, інакше залишається увімкненим
        {
            S_BP_Port UnSet(BP_POWER_ON);      //0000 0001 Зняти
Вихід автомата Увімкнути верстат
        }
        if(BP_Podxvat_SERVO) // Якщо Живлення СЕРВОприводу з
САМОПІДХВАТОМ, то знімаємо вихідний сигнал, інакше залишається
увімкненим

```

```

        {
            S_BP_Port UnSet(BP_PWR_SERVO_ON);          //0000 0001 Зняти
Вихід автомата Увімкнути верстат
        }
        F_BP_Port UnSet(BP_EMERGENCY); //0000 0010      Зняти Дозвіл
генерації помилки Аварійна кнопка
        STATE_AUTO = State_On; // Стан "Увімкнено"
        BREAK;

        CASE_AUTO State_On:// Стан "Увімкнено" з контролем сигналів
"Увімкнено пускач приводів подач"
            BBC(C_BP_Port, BP_bEMERGENCY) // Якщо натиснута "АВАРІЙНА
кнопка" переходимо до ВИМКНЕННЯ
            {
                STATE_AUTO = State_Make_Off; // Переходимо до
ВИМКНЕННЯ
                BREAK;
            }
//; ST00    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 6 State_On
//; ST01    - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 6 State_On
//; ST10    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 5 State_Error
//; ST11    - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА"      -> 0x05      State_Error
            WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), State_On, State_On, State_Error, State_Error,
ERROR_CNT_FAST);
            BREAK;
//-----
//----- помилка -----
        CASE_AUTO State_Error://5
            if(BP_Podxvat_Presence)
                {
                    I_BP_Port Set (E_BP_Port & BP_MASHIN_PWR_CHECK); // 0000
0001 0500.0 Встановити Засувка Контроль увімкнення живлення верстата
                    S_BP_Port Set(BP_POWER_OFF);          // 0000 0010
ВСТАНОВИТИ () Вимкнути верстат
                }
                    I_BP_Port Set (E_BP_Port & BP_SERVO_PWR_CHECK); //0000 1000
Встановити Засувка помилок Увімкнено пускач приводів подач
                    I_BP_Port Set (E_BP_Port & BP_EMERGENCY);
//0000 0010 Встановити Засувка помилок Аварійна кнопка

```

```

//Якщо увімкнення живлення SERVO передбачає САМОПІДХВАТ, то
додатково обробляємо сигнал контролю дозволу управління Приводами
    if(BP_Podxvat_SERVO) {I_BP_Port Set (E_BP_Port &
BP_SERVO_Allowing_Control);} //0000 0010   Встановити Засувка помилок
"Контроль Дозволу Роботи"
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO, BP_DELAY_Off, ERROR_CNT_FAST); //В
становили затримку на зняття сигналу BP_POWER_OFF
    STATE_AUTO = 16; // ввів проміжний стан 16
    BREAK;
    CASE_AUTO 16: // Затримка зняття сигналу вимкнення верстата
BP_POWER_OFF
//; ST00   - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 16
//; ST01   - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 17
//; ST10   - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 16
//; ST11   - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА"   -> 17
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 16, 17, 16, 17, ERROR_CNT_FAST); // Перейдемо в
наступний стан (17) після закінчення часу затримки (процедура "Ініціалізації")
    BREAK;
    CASE_AUTO 17: // Зняття сигналу вимкнення верстата BP_POWER_OFF
при "Ініціалізації"
        if(BP_Podxvat_Presence) // Якщо на верстаті схема увімкнення з
самопідхватом.
            {
                S_BP_Port UnSet(BP_POWER_OFF);           // 0000 0010
ЗНЯТИ   () Вимкнути верстат
            }
        STATE_AUTO = State_Make_Initialize; //0// Команда "Ініціалізувати"
        BREAK;
//-----
//----- вимкнути БЛОК ЖИВЛЕННЯ верстата -----
//   State_Make_Off:=(8)   - Команда "Вимкнути". Встановлюємо і знімаємо
S_сигнали, ЗНИМАЄМО контролю;
//   10 - ВИТРИМКА часу утримання сигналу "ВИМКНУТИ верстат";
//   11 - Зняття сигналу "ВИМКНУТИ верстат";
//   State_Off:=(9) - Стан "Вимкнено".
//----- вимкнути БЛОК ЖИВЛЕННЯ верстата
CASE_AUTO State_Make_Off:/(8)// Команда "Вимкнути"
    if(BP_Podxvat_Presence)
        {

```

```

        S_BP_Port Set BP_POWER_OFF; //0000 0010
Встановити Вихід автомата Вимкнути верстат
    }
    S_BP_Port UnSet(BP_POWER_ON); //0000 0001
Зняти Вихід автомата Увімкнути верстат
    F_BP_Port UnSet(BP_MASHIN_PWR_CHECK); //0000 0001
Зняти Дозвіл генерації помилки Контроль увімкнення
живлення верстата
    S_BP_Port UnSet(BP_PWR_SERVO_ON); //0000 0100 Зняти
Вихід автомата Увімкнення живлення приводів
X,Z
    if(BP_SPINDEL_Presence) { S_BP_Port
UnSet(BP_PWR_SPINDEL_ON); } // 0000 1000 ЗНЯТИ () Увімкнення
живлення приводів S

    F_BP_Port UnSet(BP_EMERGENCY); //0000 0010 Зняти
Дозвіл генерації помилки Аварійна кнопка (контроль кнопки
вимкнення)
    F_BP_Port UnSet(BP_SERVO_PWR_CHECK); //0000 1000 Зняти
Дозвіл генерації помилки Увімкнено пускач приводів подач
    F_BP_Port UnSet (BP_SERVO_Allowing_Control); //0000 1000 Зняти
Дозвіл генерації помилки за сигналом "Контроль Дозволу Роботи"

    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,BP_DELAY_Off,ERROR_CNT_FAST);//D
ELAY5
    STATE_AUTO = 10;
    BREAK;

    CASE_AUTO 10:// ВИТРИМКА часу утримання сигналу "ВИМКНУТИ
верстат"
//; ST00 - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" І НЕМАЄ
"ПОДІЇ ТАЙМЕРА" -> 10
//; ST01 - НОМЕР СТАНУ 00 НЕМАЄ "ПОМИЛКИ СИГНАЛУ" Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 11
//; ST10 - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" НЕМАЄ "ПОДІЇ
ТАЙМЕРА" -> 0x05 State_Error
//; ST11 - НОМЕР СТАНУ 00 Є "ПОМИЛКА СИГНАЛУ" І Є "ПОДІЯ
ТАЙМЕРА" -> 0x05 State_Error
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x0a, 0x0b, State_Error, State_Error, ERROR_CNT_FAST);

    BREAK;

    CASE_AUTO 11:// Зняття сигналу "ВИМКНУТИ верстат"
    if(BP_Podxvat_Presence)

```

```

        {
            S_BP_Port UnSet(BP_POWER_OFF);//0001 0000      Зняти Вихід
автомата  Вимкнути верстат
        }

        STATE_AUTO = State_Off;//(9)// Стан "Вимкнено"
BREAK;

//-----
//----- увімкнути готовність ЧПК -----
/* CASE_AUTO 24:
    D0500 Set 0x08; //24B
    F0500 Set 0x08; //24B
    F0500 UnSet(0x02);
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 25;
BREAK;
CASE_AUTO 25:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x19, 0x1b, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
BREAK;
CASE_AUTO 27:
    S0501 UnSet(0x0e);
    S0501 Set 0x01;//Встановл макс частоту 3500 Гц
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 28;
BREAK;
CASE_AUTO 28:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x1c, 0x1D, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
BREAK;
CASE_AUTO 29:
    S0503 Set 0x20;
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 30;
BREAK;
CASE_AUTO 30:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
CALC_ERROR(a_bp), 0x1e, 0x26, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
BREAK;
CASE_AUTO 38:
    S0503 UnSet(0x20);
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 39;
BREAK;

```

```

CASE_AUTO 39:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
    CALC_ERROR(a_bp), 0x27, 0x1f, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
    BREAK;
CASE_AUTO 31:
    S0501 Set 0x0f;//Встановл мін частоту 250 Гц
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 32;
    BREAK;
CASE_AUTO 32:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
    CALC_ERROR(a_bp), 0x20, 0x21, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
    BREAK;
CASE_AUTO 33:
    S0503 Set 0x20; //Встановл Готовність ЧПК
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 34;
    BREAK;
CASE_AUTO 34:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
    CALC_ERROR(a_bp), 0x22, 0x23, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
    BREAK;
CASE_AUTO 35:
    SET_WAIT_FAST(TIMER_AUTO,DELAY6,ERROR_CNT_FAST);
    STATE_AUTO = 36;
    BREAK;
CASE_AUTO 36:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
    CALC_ERROR(a_bp), 0x25, 0x25, 0x24, 0x05, ONES_REG);
    BREAK;
CASE_AUTO 37:
    S0501 UnSet(0x08);
    S0501 Set 0x07;//Встановл Частоту 500 Гц
    STATE_AUTO = 26;
    BREAK;
CASE_AUTO 26:
    WAIT_STATE_FAST(STATE_AUTO, TIMER_AUTO,
    CALC_ERROR(a_bp), 0x1a, 0x1a, 0x05, 0x05, ERROR_CNT_FAST);
    BREAK;*/
//-----
    END_SWITCH
END_AUTO

```