

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

Чепіжний А. В.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електрифікації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка», смт Липова Долина, Роменського району, Сумської області з розробкою автоматизованої системи керування токарним верстатом».

Виконав:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Маківський В.С.  
(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2301 ст. – 2рн

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Чепіжний А.В.  
(Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

\_\_\_\_\_ Чепіжний А.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Маківський Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електрифікації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка», смт Липова Долина, Роменського району, Сумської області з розробкою автоматизованої системи керування токарним верстатом,

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «24» вересня 2024 року №3257/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: «15» травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: нормативні документи, технічні паспорти та технічна характеристика обладнання, звіти та технічна документація підприємства.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ. 1 Аналіз виробничо-господарської діяльності району. 2 Технологічна частина. 3 Розрахунок та вибір силового електрообладнання токарного цеху. 4 Розрахунок та вибір освітлення токарного цеху. 5 Розробка автоматизованої системи керування токарним верстатом. 6 Охорона праці. 7 Економічне обґрунтування. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Освітлення токарного цеху. Автоматизація токарного верстата 9CRAFT WM210V. Автоматизація токарного верстата 9CRAFT WM210V. Керування приводами осей токарного верстата 9CRAFT WM210V. Техніко-економічні показники автоматизації токарного верстата 9CRAFT WM210V.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Семерня О.В., ст. викладач		
Економічне обґрунтування	Шашков С.В., к.е.н., ст. викладач		
Нормоконтроль	Чепіжний А.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: «04» вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	6.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та	до 13.09.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 27.09.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 04.10.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Аналіз виробничо-господарської діяльності району»	до 18.10.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Технологічна частина»	до 01.11.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Розрахунок та вибір силового електрообладнання»	до 15.11.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Розрахунок і вибір освітлення токарного цеху»	до 20.12.2024 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5. Розробка автоматизованої системи керування токарним верстатом»	до 24.01.2025 р.	
10.	Підготовка розділу «Розділ 6. Охорона праці»	до 21.02.2025 р.	
11.	Підготовка розділу «Розділ 7. Економічне обґрунтування»	до 14.03.2025 р.	
12.	Написання висновків та пропозицій	до 25.04.2025 р.	
13.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
14.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
15.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Маківський В.С.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Чепіжний А.В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Маківський В. С. Реконструкція системи електрифікації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка», смт Липова Долина, Роменського району, Сумської області з розробкою автоматизованої системи керування токарним верстатом. Суми : СНАУ, 2025 р.**

Кваліфікаційна бакалаврська робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та впровадженню автоматизованої системи керування токарним верстатом у межах модернізації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка». Робота включає комплексний аналіз існуючої системи електрифікації, вибір оптимального обладнання, розробку електричних схем, а також економічне обґрунтування доцільності автоматизації.

У процесі дослідження виконано розрахунок силового електрообладнання, розроблено систему автоматизації на основі програмованого логічного контролера (ПЛК 150), що забезпечує підвищення точності та безпеки роботи верстата. Запропоновані технічні рішення дозволяють знизити енергоспоживання та витрати на ручну працю, оптимізуючи виробничий процес.

Розроблено схему автоматизації системи керування токарним верстатом, що включає інтеграцію сучасних сенсорів та виконавчих механізмів для забезпечення високої точності обробки деталей. Особливу увагу приділено вибору системи ЧПК, яка відповідає вимогам виробництва та забезпечує зручний інтерфейс для оператора. Економічна частина проекту доводить ефективність впровадження автоматизації.

**Ключові слова:** автоматизація, токарний верстат, ПЛК, електрифікація, освітлення, силове обладнання, програмований логічний контролер, продуктивність енергозбереження.

## SUMMARY

**Makivskiy V. S. Reconstruction of the electrification system of the turning shop of LLC «Kobzarenko's Plant» in Lipova Dolyna settlement, Romenskiy district, Sumy region, with the development of an automated control system for the lathe machine. Sumy: SNAU, 2025.**

Bachelor's qualification work in specialty 141 «Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics», educational and professional program «Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics».

The qualification work is dedicated to the development and implementation of an automated lathe control system within the framework of the modernization of the lathe shop of LLC «Kobzarenko Plant». The work includes a comprehensive analysis of the existing electrification system, selection of optimal equipment, development of electrical circuits, as well as economic justification of the feasibility of automation.

During the research process, calculations of the power electrical equipment were carried out, and an automation system based on a programmable logic controller (PLC 150) was developed, ensuring increased accuracy and safety of machine operation. The proposed technical solutions allow for reducing energy consumption and labor costs, optimizing the production process.

A scheme for automating the lathe machine control system was designed, involving integration of modern sensors and actuators to ensure high-precision processing of parts. Particular attention was paid to the selection of a CNC system that meets production requirements and provides a user-friendly interface for operators. The economic part of the project demonstrates the effectiveness of automation implementation.

**Keywords:** automation, lathe machine, PLC, electrification, lighting, power equipment, programmable logic controller, energy efficiency.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ РАЙОНУ.....	8
1.1 Природно-географічний опис району електропостачання.....	8
1.2 Характеристика об'єкту електропостачання.....	8
1.3 Аналіз існуючої системи електропостачання об'єкту.....	10
Висновки та пропозиції.....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	12
2.1. Вибір технологічного обладнання.....	12
3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ.....	16
4 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОСВІТЛЕННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ.....	18
4.1 Розрахунок і вибір освітлення.....	18
4.2 Вибір та розрахунок апаратури захисту освітлювальної мережі.....	25
4.3 Організація освітлення виробничих приміщень.....	27
5 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТОКАРНИМ ВЕРСТАТОМ.....	30
5.1. Розробка функціональної схеми системи управління токарним верстатом.....	30
5.2. Опис загальної системи керування автоматизованої системи керування токарним верстатом.....	34
5.3 Висновки і пропозиції.....	35
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	40
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	46

## ВСТУП

Сучасні вимоги до ефективності та надійності виробничих процесів вимагають удосконалення електрифікації промислових підприємств. Особливо актуальним є питання автоматизації керування технологічним обладнанням, що дозволяє підвищити продуктивність, знизити енергоспоживання та покращити якість продукції.

Даний кваліфікаційний проєкт присвячений реконструкції системи електрифікації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка», що знаходиться в смт., Липова Долина, Роменського району, Сумської області. Проєкт передбачає удосконалення існуючої електромережі та впровадження автоматизованої системи керування токарним верстатом, що забезпечить підвищення точності обробки деталей, зниження впливу людського фактора та оптимізацію виробничих процесів.

У ході роботи буде проведено аналіз існуючої системи електропостачання цеху, розглянуто можливі варіанти її модернізації, а також спроектовано автоматизовану систему керування токарним верстатом на основі сучасних технологій. Запропоновані рішення сприятимуть зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню безпеки праці та покращенню техніко-економічних показників підприємства.

Проєкт містить теоретичні обґрунтування, розрахунки, вибір оптимального обладнання та практичні рекомендації щодо впровадження модернізованої системи електрифікації та автоматизації токарного виробництва.

# **1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ РАЙОНУ**

## **1.1 Природно-географічний опис району електропостачання**

Селище міського типу Липова Долина розташоване на південному заході Сумської області, в межах Роменського району. Ця територія характеризується м'яким кліматом, родючими ґрунтами та багатими природними ресурсами.

Рельєф місцевості – хвиляста рівнина, розчленована долинами річок Хорол та Грунь, а також численними ярами та балками. Ліси переважно розташовані вздовж річкових долин та на схилах балок, формуючи мозаїчний ландшафт.

Основними деревними породами є дуб, клен та липа, а підлісок складається з ліщини, калини, глоду та бузини. Степова рослинність зберіглася на окремих ділянках, представлених лучними степами.

Ґрунти регіону сприятливі для вирощування зернових культур, таких як пшениця, ячмінь, жито, а також кукурудзи, соняшнику та сої. Крім того, район багатий на корисні копалини, зокрема нафту, природний газ, пісок, глину, сіль та буре вугілля.

Важливим природним об'єктом є річка Хорол, на березі якої розташоване селище Липова Долина.

Найближча залізнична станція знаходиться в місті Ромни, приблизно за 32 км від селища.

Через Липову Долину проходять автомобільні дороги Т 2113 та Т 1904, що забезпечують транспортне сполучення з іншими населеними пунктами. Завдяки поєднанню природних ресурсів та розвиненої інфраструктури, регіон має сприятливі умови для розвитку промисловості та сільського господарства.

## **1.2 Характеристика об'єкту електропостачання**

ТОВ «Завод Кобзаренка» розташоване в смт. Липова Долина Роменського району Сумської області.

Підприємство було засноване у 1993 році як українсько-німецьке товариство «Флігель», а в 2008 році перейменоване на «Завод Кобзаренка». Підприємство розпочало свою діяльність із виготовлення садового інвентарю – зокрема, візків і тачок для приватного господарства. Починаючи з 2006 року, завод спеціалізується на виробництві тракторних причепів.

На сьогодні «Завод Кобзаренка» виробник номер 1 тракторних причепів в Україні. Завод виготовляє:

- 20 видів тракторних причепів;
- 4 види алюмінієвих автомобільних причепів;
- 20 видів різноманітних шнеків;
- 9 видів перевантажувальних бункерів;
- 20 видів цистерн для води, жижі та засобів захисту рослин;
- зернопакувальне обладнання;
- завантажувачі / розвантажувачі вагонів;
- відвали та ковші;
- причепа для перевезення тюків соломи;
- шнекові конструкції;
- розкидачі міндобрив та інше.

Система електропостачання заводу забезпечує безперебійну роботу всіх виробничих підрозділів. Підприємство має власні трансформаторні підстанції, які перетворюють напругу з високовольтних ліній електропередачі на необхідні для обладнання параметри. Розподіл електроенергії здійснюється через мережу розподільчих щитів, що забезпечують живлення різних цехів та ділянок заводу. Особлива увага приділяється енергоефективності та автоматизації процесів управління електроспоживанням, що дозволяє оптимізувати витрати енергії та підвищити надійність роботи обладнання.

Завдяки сучасній системі електропостачання та автоматизації виробничих процесів, ТОВ «Завод Кобзаренка» забезпечує високий рівень продуктивності та якості своєї продукції, що сприяє зміцненню його позицій на українському та міжнародному ринках.

### **1.3 Аналіз існуючої системи електропостачання об'єкту**

Електропостачання підприємства здійснюється від Липоводолинської дільниці філії «Роменський район електричних мереж» АТ «Сумиобленерго». Господарство отримує електроживлення через високовольтні лінії, прокладені на залізобетонних опорах із використанням проводів марок А-50 та А-70. Технічний стан ліній оцінюється як справний.

Підприємство живиться від двох трансформаторних підстанцій типу КТП кожна з яких потужністю 600 кВА. Для захисту підстанцій від перенапруг застосовуються розрядники типу РВО, а також встановлюється заземлююче обладнання.

Низьковольтні лінії напругою 0,38 кВ, які раніше виконувалися 7 проводами А-25 та А-35 на залізобетонних опорах, замінюються проводами СПП 4×25. Середня відстань між опорами становить 45 метрів. Вимірювання енергії на промислових і комунальних об'єктах здійснюється за допомогою лічильників активної енергії.

Для управління та захисту електроприводів використовуються різноманітні пристрої, такі як пускачі, пакетні перемикачі, рубильники, автоматичні вимикачі, запобіжники, теплові реле, пристрої УВТЗ та інші подібні пристрої.

Необхідність безперебійного живлення технологічного циклу виробництва є основною причиною визначення категорії надійності. За умовами безперебійного електропостачання в цілому цехи відносяться до 2-ї категорії споживачів електроенергії, відключення пов'язані з великим браком продукції, простоем працівників, різних механізмів.

Електрообладнання підприємства обслуговує бригада спеціалістів, які мають відповідні допуски та кваліфікацію.

### **Висновки та пропозиції**

Проведений аналіз визначає основні напрямки для реалізації необхідних заходів, спрямованих на досягнення кінцевої мети кваліфікаційного проєкту:

1. Розглянути можливість встановлення додаткових джерел резервного живлення, таких як дизельні генератори або системи безперебійного живлення (UPS).

2. Розглянути можливість заміни або модернізації обладнання для зниження енергетичних втрат та підвищення ефективності роботи.

3. Запровадити системи автоматизованого контролю та керування енергоспоживанням, які забезпечать своєчасне виявлення та усунення несправностей, а також підвищать ефективність використання електроенергії.

4. Організувати регулярні тренінги та підвищення кваліфікації для обслуговуючого персоналу з метою ознайомлення з новітніми технологіями в галузі електропостачання та енергоефективності, що сприятиме підвищенню загальної надійності та ефективності роботи системи електропостачання підприємства.

Реалізація зазначених пропозицій дозволить підвищити надійність та ефективність системи електропостачання ТОВ «Завод Кобзаренка», що, в свою чергу, сприятиме стабільній роботі підприємства та підвищенню його конкурентоспроможності на ринку.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Вибір технологічного обладнання

Територія даного підприємства займає приблизно 8,6 га. На території знаходяться 6 виробничих цехів: зварювальні цехи, різання металу, збирання, тощо. В кожному цехові є різні види технологічного обладнання, яким виготовляють вихідну продукцію.

Основна маса процесів в господарстві автоматизована.

Так як на території підприємства розміщено токарний цех №2, для якого і вибираємо технологічне обладнання.

В цеху для виконання ремонтних робіт та відновлення деталей, приладів та інших виробів використовуються металообробні верстати. Так для прикладу розрахунок технологічного обладнання приведемо токарного верстату 9CRAFT WM210V.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд токарного верстата 9CRAFT WM210V

Технічні характеристики токарного верстата 9CRAFT WM210V наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики токарного верстата 9CRAFT WM210V

Найменування	Значення
Відстань між центрами	750 мм
Діаметр обробки над станиною	280 мм
Діаметр обточування над супортом	165 мм
Діаметр отвору шпинделя	38 мм
Діаметр пінолі	35 мм
Діаметр посадочного отвору	38 мм
Кількість обертів холостого ходу	1800 об/хв
Кількість шпинделів	1 шт.
Максимальний діаметр диска	280 мм
Потужність споживання	1,1 кВт
Хід пінолі	80 мм
Напруга	220 В
Струм споживання	6 А
Частота	50 Гц
Вага	350 кг
Габарити	150×70×70 см

У зв'язку з тим, що під час ремонтних робіт в умовах цеху обробляють найрізноманітніші деталі, вибір потужності електродвигуна здійснюється із розрахунку на найенергоємніший технологічний процес. Потрібну потужність визначаємо за наступною формулою:

$$P_{дв} = \frac{M_{ст} \cdot n_{ст}}{19,2 \cdot \eta_{вс} \cdot \eta_{пер}} \quad (2.1)$$

де  $M_{ст}$  – момент на станині, кНм;

$n_{ст}$  – частота обертання станини, об./хв<sup>-1</sup>;

$\eta_{пер}$  – коефіцієнт корисної дії верстата, (0,6-0,8);

$\eta_{вс}$  – коефіцієнт корисної дії передачі, (0,7-0,8).

Поправочний коефіцієнт – 19,2.

$$P_{дв} = \frac{4 \cdot 1200}{19,2 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 510 \text{Вт} = 0,51 \text{кВт}$$

Як видно з розрахунку токарний верстат цілком задовольняє потреби підприємства.

Для забезпечення підвищення точності та безпеки роботи верстата використовуємо ПЛК 150.

ПЛК150 – компактний програмований логічний контролер з аналоговими та дискретними входами/виходами. Він вимірює вхідні сигнали, як аналогові, так і цифрові, та формує відповідні вихідні сигнали. Контролер ідеально підходить для керування невеликими та середніми об'єктами автоматизації, а також для створення систем моніторингу та диспетчеризації.

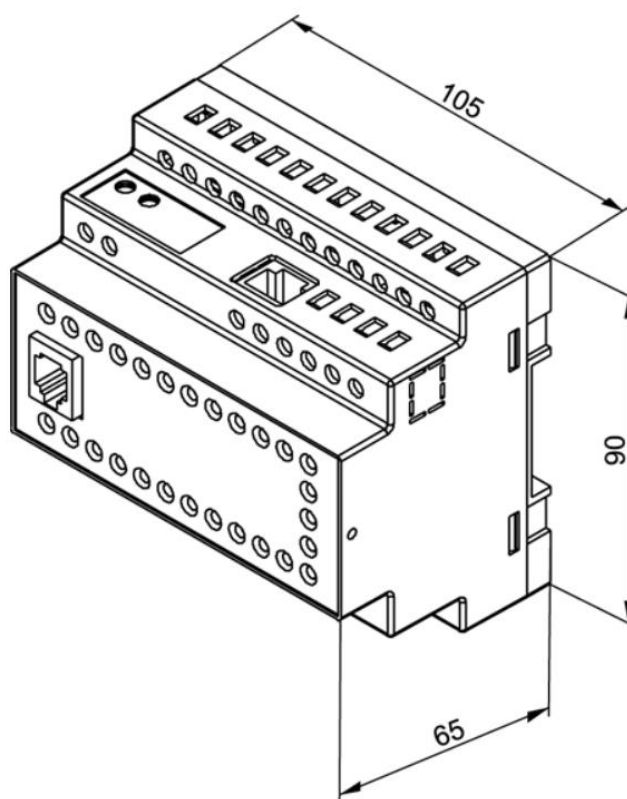


Рисунок 2.2 – Схема живлення дискретних входів і виходів ПЛК 150

Особливості контролера ПЛК 150:

- Малогабаритний пластиковий корпус, призначений для встановлення на DIN-рейку.

- Дискретні входи / виходи.

- Аналогові входи / виходи.

- Порти обміну даними (послідовні) RS-485 і RS-232.

- Наявність порту Ethernet.

- Розширення кількості дискретних та аналогових входів і виходів забезпечується шляхом підключення зовнішніх модулів введення/виведення через один з наявних вбудованих інтерфейсів.

Також серед технологічного обладнання підприємства в токарному цеху є фрезерні станки, кран-балка, зварювальні апарати тощо.

Розрахунок технологічного обладнання проводимо аналогічно. Всі дані заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Перелік та основна технічна характеристика технологічного обладнання цеху №2

№ п/п	Назва обладнання	Потужність, кВт	Тип двигуна, марка	Кількість, шт.
1	Свердлильний верстат	0,55	АИР100S4У3 ГС2112	2
2	Токарно-гвинторізний верстат	4	9CRAFT GX280L	2
3	Токарний верстат	1,1	9CRAFT WM210V	1
4	Фрезерний станок	5,2	АИР80А6 Cormak HK-25L Vario	2
5	Кран-балка	12	АИР56В4 Yale VCM Series	1
6	Зварювальні апарати: Jasic MIG-350P	11,9	-	2
	Tesla Weld MIG/MAG/MMA 500 S	19,5		1

### 3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ

**Вибір силової проводки, вибір щита керування.** Розрахунок вводу виконую для токарного цеху, №2. Для забезпечення надійного електропостачання та безпечної роботи обладнання вибір кабелю та його перерізу здійснюється за критеріями допустимого струмового навантаження та умов короткого замикання.

Ввід у цех здійснюється трифазним кабелем марки АВВГ. Довжина електричного вводу - 5 метрів, що сприяє зменшенню втрат напруги в мережі. Вибір перерізу кабелю здійснюється на основі таких умов:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{рвв}} \quad (3.1)$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{тр}} \cdot K_3 \quad (3.2)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм нагрівання кабелю, А.

$I_{\text{рвв}}$  – розрахунковий струм вводу, А.

$I_{\text{тр}}$  – струм, на який налаштовано тепловий розчіплювач автоматичного вимикача, встановленого на ввіді до силового розподільчого щита, забезпечує захист мережі від перевантаження, А.

$K_3$  – коефіцієнт запасу (приймаємо 1).

$$I_{\text{доп}} = 275 \cdot 0.92 = 253\text{A} \geq I_{\text{рвв}} = 150\text{A}$$

$$I_{\text{доп}} = 253\text{A} \geq 150 \cdot 1 = 150\text{A}$$

Оскільки всі умови виконуються, приймаємо кабель АВВГ ( $3 \times 75 \text{ мм}^2 + 1 \times 50 \text{ мм}^2$ ). Приймаємо кабель АВВГ ( $3 \times 75 \times 1 \times 50$ ).

Для живлення обладнання токарного цеху передбачено встановлення силового розподільчого щита типу ЩО-70 з трьома фазами та нульовим провідником.

Щит оснащено:

- автоматичним вимикачем номіналом 160 А з тепловим і електромагнітним захистом;
- контактором для керування основним навантаженням;
- лічильником електроенергії класу точності 1.0;
- індикацією фаз і аварійним сигналізатором.

Для підвищення надійності пропонується передбачити реле контролю фаз для захисту обладнання від перекосу напруги.

Враховуючи можливе розширення цеху, доцільно залишити резерв по струму (запас до 20 %).

Таке рішення забезпечує безпечне, надійне та ефективне електропостачання токарного цеху з можливістю подальшої модернізації.

## 4 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОСВІТЛЕННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ

### 4.1 Розрахунок і вибір освітлення

Електроосвітлення являється важливим фактором, що впливає на продуктивність праці сільськогосподарських робіт і продуктивність тварин.

Правильно розроблена електроосвітлювальна установка повинна задовольняти вимоги діючих правил і норм і бути найбільш ефективною. Освітлювальні установки повинні створити потрібний світловий клімат приміщень, при якому забезпечуються нормальні і безпечні умови праці і забезпечуються необхідні умови для росту виробництва і підвищення якості продукції.

Світлодіоди, також відомі як LED-лампи, порівняно з традиційними лампами споживають набагато менше електроенергії. Їхня світлова потужність споживає до 150 лм/Вт, наприклад, споживаючи лише 9 Вт, світлодіоди світять як лампа розжарювання 75 Вт. Крім того, термін служби цих ламп становить від 50 000 до 100 000 годин. Тобто в умовах роботи по 10 годин на добу це 12-25 років експлуатації.

У відмінну від газорозрядних люмінесцентних ламп, світлодіодні світильники є абсолютно безпечними. Вони характеризуються постійним світловим потоком. Фактично, світлодіоди працюють від постійного струму, що сприяє випромінюванню стабільного світла. У світлодіодах відсутнє значне випромінювання інфрачервоного та ультрафіолетового спектру.

Під час проєктування електроосвітлювальних установок важливо враховувати, що розташування та спосіб монтажу світильників мають забезпечувати необхідні рівні освітленості з мінімальними витратами, оптимальне прокладання мереж з урахуванням зручності та промислової технології, надійне кріплення світлотехнічного обладнання, а також безпечну й зручну експлуатацію системи освітлення.

Для освітлення токарного цеху вибираємо світильник LED лінійний 52W 4200K 1200мм ПРИЗМА-SL.

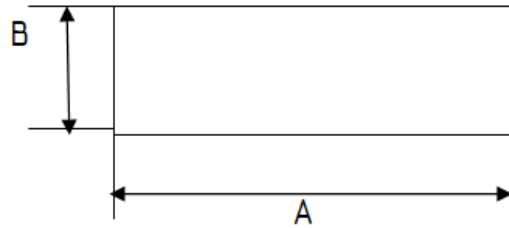


Рисунок 4.1 – План світлового приміщення

Таблиця 4.1. Дані для розрахунку освітлення токарного цеху

Найменування	Значення
Довжина, А	64 м
Ширина, В	16 м
Висота, Н	5 м

Площу приміщення знаходимо за формулою:

$$S = A \cdot B \quad (4.1)$$

$$S = 16 \cdot 64 = 1024 \text{ м}^2$$

Розрахунок виконуємо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку.

Норма освітленості при освітленні цеху світлодіодними лампами  $E = 75 \text{ Лк}$  на рівні підлоги.

Відповідно до вимог ПУЕ, мінімальна висота підвішування світильників становить  $h_{\text{мін}} = 2,5 \text{ м}$ , у проекті приймаю висоту підвішування  $h = 2,7$ .

Знаходимо відстань між світильниками по формулі:

$$L = h \cdot \lambda \quad (4.2)$$

де  $\lambda$  – відносна відстань між світильниками.

$$\lambda = 1,4 \dots 1,8$$

$$L = 2,7 \cdot (1,4 \dots 1,8) = 3,78 \dots 4,86 \text{ м}$$

Приймаємо  $L = 4,8 \text{ м}$ .

Знаходимо кількість світильників в ряду по формулі:

$$L = 0,5 \cdot L_A \quad (4.3)$$

$$L_A = 0,5 \cdot 4,64 = 2,32 \text{ м}$$

Відстань від стіни до першого ряду знаходимо по формулі:

$$l_B = 0,5 \cdot L_B \quad (4.4)$$

$$l_B = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ м}$$

У цеху розрахунок освітлення проводимо за методом питомої потужності, що застосовується для орієнтовного визначення параметрів освітлювальних установок.

На прикладі виконаємо розрахунок освітлення заготівельного цеху, площа якого  $S = 1024 \text{ м}^2$ .

Норма освітленості  $E = 20 \text{ Лк}$ . Коефіцієнт відбиття стель  $\rho_n = 30 \%$ , стін  $\rho_c = 10 \%$ , підлоги  $\rho_p = 10 \%$ .

Для організації освітлення обираємо лінійні світлодіодні світильники типу ПРИЗМА-SL. Висоту підсвіту світильника приймаємо  $h = 2,7 \text{ м}$ .

Коефіцієнт запасу  $K_z = 1,15$ . Коефіцієнт нерівномірності освітлення  $Z = 1,5$ .

По таблицям питомої потужності знаходимо табличне значення питомої потужності по формулі:

$$P_a = \frac{A}{L}, \text{ Вт/м}^2 \quad (4.5)$$

$$\Pi_a = \frac{70}{4,8} = 14,5$$

Приймаємо  $\Pi_a = 15 \text{ Вт/м}^2$ .

Знаходимо кількість рядів за формулою:

$$\Pi_B = \frac{B}{L}, \quad (4.6)$$

$$\Pi_B = \frac{16}{4,8} = 3,3$$

Приймаємо  $\Pi_B = 3$ .

Загальну кількість світильників знаходимо по формулі:

$$\Pi = \Pi_a \cdot \Pi_B, \quad (4.7)$$

$$\Pi = 15 \cdot 3 = 45 \text{ шт.}$$

Визначаємо індекс приміщення по формулі:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)}, \quad (4.8)$$

$$i = \frac{64 * 16}{2,7 * (64 + 16)} = 4,8$$

Знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку світильника.  
Теоретичні значення коефіцієнтів відбиття поверхностей:

$$\rho_n = 30\%;$$

$$\rho_c = 10\%;$$

$$\rho_p = 10\%$$

Світильник LED лінійний ПРИЗМА-SL має криву сили світла Д-1, потік, випромінюваний в нижню напівсферу у відносних одиницях  $\Phi_{\cup} = 0,63$  ККД  $\eta = 0,7$ .

Потік, випромінюваний у верхню напівсферу визначається за формулою:

$$\begin{aligned}\Phi_{\cap} &= \eta - \Phi_{\cup} & (4.9) \\ \Phi_{\cap} &= 0,7 - 0,63 = 0,07\end{aligned}$$

Загальний коефіцієнт використання світлового потоку знаходиться по формулі:

$$И = \Phi_{\cup} И_1 + \Phi_{\cap} И_2, \quad (4.10)$$

де  $И_1$  – коефіцієнт використання світлового потоку в нижню напівсферу.  
 $И_1 = 0,81$ ;

$И_2$  – коефіцієнт використання світлового потоку у верхню напівсферу.  
 $И_2 = 0,24$ .

$$И = 0,63 \cdot 0,81 + 0,07 \cdot 0,24 = 0,53$$

Знаходимо потрібний світловий потік світильника по формулі:

$$\Phi_c = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot И}; \quad (4.11)$$

де  $E$  – освітленість на робочій поверхні;

$S$  – площа приміщення;

$K$  – коефіцієнт запасу,  $K = 1,3$ ;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення;  $Z = 1,2$ ;

$n$  – кількість світильників;

И – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_c = \frac{75 \cdot 1024 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{45 \cdot 0,53} = 5023 \text{ Лм}$$

Приймаємо для світильника LED лінійний лампи ПРИЗМА-SL із світловим потоком  $\Phi_{\text{л}} = 4500$  Лм.

Знаходимо фактичну освітленість по формулі:

$$E_{\phi} = E \frac{2 \cdot \Phi_{\text{л}}}{\Phi_c}; \quad (4.12)$$

$$E_{\phi} = 75 \frac{2 \cdot 4500}{5023} = 134,3$$

Визначаємо відхилення освітленості від норми по формулі:

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E}{E} \cdot 100\%; \quad (4.13)$$

$$\Delta E = \frac{134,3 - 75}{75} \cdot 100\% = 0,8\%$$

Відхилення освітленості відповідає допустимому  $-10\% < 0,8\% < 20\%$ .

Приймаємо до установки 45 світильників в три ряди по 15 штук.

Знаходимо відстань між світильниками в ряду по формулі:

$$L_A = \frac{A}{Pa}; \quad (4.14)$$

$$L_A = \frac{70}{15} = 4,6 \text{ м}$$

Відстань між рядами знаходимо по формулі:

$$L_B = \frac{B}{\Pi \rho}, \quad (4.15)$$

$$L_B = \frac{16}{3} = 5 \text{ м.}$$

Відстань від світильника до стіни знаходимо по формулі:

$$P'_{num} = 9,3 \text{ Вт/м}^2 \quad (4.16)$$

Так як табличне значення дано при  $\rho'n=50\%$ ,  $\rho'c=30\%$ ,  $\rho'p=10\%$  і  $K'z=1,3$ ;  $z=1,15$ , виконуємо поправку питомої потужності:

$$P'_{num} = P_{num} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4, \quad (4.17)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт приведення коефіцієнта запасу до табличного;

$K_2$  – коефіцієнт приведення коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення до табличного.  $K_2=1,1$ ;

$K_4$  – коефіцієнт приведення коефіцієнта нерівномірності освітлення до табличного.

Знаходимо коефіцієнт приведення коефіцієнта запасу до табличного:

$$K_1 = \frac{K_3}{K'3}, \quad (4.18)$$

$$K_1 = \frac{1,15}{1,3} = 0,88$$

Знаходимо коефіцієнт приведення нерівномірності і освітлення до табличного:

$$K_4 = \frac{Z}{Z'}, \quad (4.19)$$

$$K_4 = \frac{1,5}{1,15} = 1,3$$

Виконаємо поправку питомої потужності:

$$P'_{num} = 9,3 \cdot 0,88 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 11,7 \text{ Вт/м}^2$$

Визначимо розрахункову потужність ламп:

$$P_n = P_{num} \cdot S, \quad (4.20)$$

$$P_n = 11,7 \cdot 10,2 = 119,3 \text{ Вт}$$

До встановлення приймаємо світильники LED лінійні ПРИЗМА-SL 52 Вт із світловим потоком  $\Phi_d = 4500$  Лм.

#### **4.2 Вибір та розрахунок апаратури захисту освітлювальної мережі**

Забезпечення захисту освітлювальних мереж від перевантажень, коротких замикань та інших негативних впливів є необхідною умовою надійної та безпечної експлуатації електроустановок. Для цього використовуються різні типи апаратів захисту, вибір та розрахунок яких залежить від ряду факторів.

Кожна групова лінія має бути оснащена запобіжниками або автоматичними вимикачами з електромагнітними розчіплювачами, налаштованими на струм до 25 А при підключенні ламп загальною потужністю до 500 Вт. Загальне навантаження освітлювальної чи опромінювальної установки бажано рівномірно розподіляти між фазами мережі живлення.

Усі електричні мережі обов'язково мають бути оснащені засобами захисту від коротких замикань. У разі виникнення КЗ, захист повинен оперативно відключити пошкоджену ділянку мережі.

Розрахунковий струм для трифазних груп з світлодіодними лампами визначається за формулою:

$$I_{\text{розр}} = \frac{1,25 \cdot P_y \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi} \quad (4.21)$$

де  $P_y$  – потужність установки;

$U_\phi$  – напруга.

$$I_{\text{розр}} = \frac{1,25 \cdot 4,4 \cdot 10^3}{1,72 \cdot 380 \cdot 0,8} = 10,5 \text{ А}$$

Номінальні струми плавких вставок запобіжників і розчіплювачів автоматичних вимикачів вибирають за такими умовами:

$$I_{\text{ном.пл.в}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{розр}} \quad (4.22)$$

$$I_{y.e} \geq 1,4 \cdot I_{\text{розр}} \quad (4.23)$$

де  $I_{\text{розр}}$  – розрахунковий струм;

$I_{\text{ном.пл.в}}$  – номінальний струм плавкої вставки;

$I_{y.e}$  – струм уставки спрацювання електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача.

$$I_{\text{ном.пл.в}} \geq 1,2 \cdot 10,5 \geq 12,6 \text{ А}$$

$$I_{y.e} \geq 1,4 \cdot 10,5 \geq 14,7 \text{ А}$$

З довідкової літератури вибираємо захист: запобіжник TAXNELE DC Fuse 15A і автоматичний вимикач АСКО ВА-2017 ЗР С 16А.

Згідно з нормативними вимогами, для електроустановок слід використовувати визначені марки проводів і кабелів, а також дотримуватись рекомендованих способів прокладання.

У виробничих приміщеннях освітлювальну проводку монтують відкритим або закритим способом: на тросах, у пластикових чи сталевих трубах, у каналах будівельних конструкцій, уздовж стін або стелі.

Площу поперечного перерізу струмоведучих жил проводу або кабелю слід обирати так, щоб допустиме тривале струмове навантаження  $I_{\text{доп}}$  було не менше за максимально можливий робочий струм електричного кола  $I_{\text{макс.р}}$ .

Вибраний за нагрівом провід або кабель необхідно перевіряти на відповідність його перерізу апарату захисту за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3 \quad (4.24)$$

де  $K_3$  – Кратність допустимого тривалого струму провідника визначається як відношення цього струму до номінального струму або струму спрацювання захисного апарата, зокрема автоматичного вимикача, обладнаного лише електромагнітним розчіплювачем ( $K_3 = 0,22$ );

$I_3$  – сила номінального струму або струму спрацювання захисного апарата ( $I_3 = I_{y.e} = 20 \text{ A}$ ).

$$I_{\text{доп}} \geq 0,22 \cdot 20 \geq 4,4 \text{ A}$$

Отже нам підходить провід АВРГ 2×2,5.

### **4.3 Організація освітлення виробничих приміщень**

Освітлення виробничих приміщень є важливим елементом, що впливає на продуктивність праці, безпеку працівників і якість виконуваних робіт. Для правильної організації освітлення необхідно враховувати низку факторів, таких як тип виробництва, особливості робочих місць, вимоги до освітленості, а також економічні та екологічні аспекти. Вимоги до освітлення:

1. Яскравість і рівномірність освітлення. Освітлення має бути достатньо яскравим для виконання робіт, що потребують високої точності, але не

засліплювати працівників. Рівномірність освітлення дозволяє уникнути різких контрастів світла і тіні, що може призводити до втоми очей.

2. Колірна температура та індекс кольоропередачі. Оптимальна колірна температура для виробничих приміщень зазвичай знаходиться в діапазоні 4000-5000 К. Високий індекс кольоропередачі (не менше 80) забезпечує точне відтворення кольорів, що важливо для робіт з кольоровими матеріалами.

3. Енергозбереження. Використання енергоефективних джерел світла, таких як світлодіодні (LED) лампи, дозволяє значно знизити витрати на електроенергію. Встановлення систем автоматичного керування освітленням, які регулюють яскравість світла в залежності від природного освітлення та присутності людей, сприяє додатковій економії.

Типи освітлення:

1. Загальне освітлення. Забезпечує рівномірне освітлення всього приміщення.

2. Місцеве освітлення. Застосовується для підсилення освітлення в окремих робочих зонах або на місцях, де виконуються роботи, що потребують особливої точності або пов'язані з підвищеною небезпекою. Лампи для місцевого освітлення можуть бути регульованими для зручності працівників.

3. Аварійне освітлення. Необхідне для забезпечення безпеки в разі аварійних ситуацій, таких як відключення електроенергії. Аварійне освітлення повинно забезпечувати достатню видимість для евакуації працівників і продовження роботи з критичними системами.

Вибір джерел світла:

1. Світлодіодні (LED) лампи. Найбільш енергоефективні, мають тривалий термін служби і високу світловіддачу. Дозволяють легко регулювати яскравість та колірну температуру.

2. Люмінесцентні лампи. Мають хорошу світловіддачу, але меншу енергоефективність у порівнянні з LED. Вимагають наявності пускорегулюючої апаратури.

3. Металогалогенні лампи. Використовуються для освітлення великих площ завдяки високій світловіддачі. Мають коротший термін служби і меншу енергоефективність порівняно з LED.

Монтаж і розташування світильників:

- Світильники повинні розташовуватися таким чином, щоб забезпечити рівномірне освітлення робочих зон без створення відблисків.

- Висота встановлення світильників визначається залежно від висоти приміщення і типу виконуваних робіт.

- Врахування архітектурних особливостей приміщення дозволяє уникнути тіней та темних зон.

Управління освітленням:

- Сучасні системи автоматичного управління освітленням використовують датчики руху і освітленості для підтримання оптимального рівня світла в приміщенні.

- Використання програмованих контролерів дозволяє створювати різні сценарії освітлення залежно від часу доби або виду виконуваних робіт.

Проектування освітлення у виробничих приміщеннях потребує комплексного підходу, врахування особливостей виробничого процесу та використання сучасних технологій. Грамотно спроектована освітлювальна система підвищує продуктивність, забезпечує безпеку та сприяє зниженню енергоспоживання.

## **5 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТОКАРНИМ ВЕРСТАТОМ**

Сучасне виробництво вимагає високої точності, продуктивності та ефективності, що робить автоматизацію технологічних процесів невід’ємною складовою конкурентоспроможності підприємств. Одним із ключових напрямів автоматизації є створення систем керування металообробними верстатами, зокрема токарними.

Автоматизована система керування (АСК) токарним верстатом дозволяє підвищити якість обробки деталей, зменшити вплив людського фактора, скоротити час на виконання операцій та оптимізувати використання ресурсів. Завдяки застосуванню сучасних мікропроцесорних контролерів, програмованих логічних пристроїв (ПЛК) та цифрових приводів забезпечується точне позиціонування інструмента, контроль технологічних параметрів та інтеграція верстата в загальну виробничу систему.

Розробка автоматизованої системи керування токарним верстатом спрямована на підвищення ефективності виробництва, зниження енергоспоживання та підвищення безпеки персоналу.

### **5.1. Розробка функціональної схеми системи управління токарним верстатом**

У сучасному виробництві, особливо в галузях машинобудування та автоматизованого управління, ключову роль відіграють технології числового програмного керування (ЧПК). Вони забезпечують високу точність обробки деталей, автоматизують виробничі операції та зменшують залежність результату від людського фактора, підвищуючи загальну ефективність роботи обладнання. Важливим етапом створення таких систем є інтеграція всіх функціональних елементів – датчиків, виконавчих механізмів, інтерфейсів користувача та зовнішніх комунікацій – у єдину узгоджену систему.

З цією метою розроблена функціональна схема керування, подана на рисунку 5.1. Запропонована система дозволяє автоматизувати технологічні процеси завдяки застосуванню високоточних сенсорів та виконавчих пристроїв, що суттєво покращує ефективність виробництва. Користувацькі інтерфейси надають операторам змогу контролювати функціонування обладнання, отримувати оперативний зворотний зв'язок і своєчасно реагувати на відхилення або зміни умов роботи.

Центральною ланкою системи виступає контролер Syntec PLC, який виконує функції обробки сигналів та управління всіма компонентами через відповідні вхідні та вихідні канали, забезпечуючи їхню злагоджену взаємодію для виконання виробничих завдань.

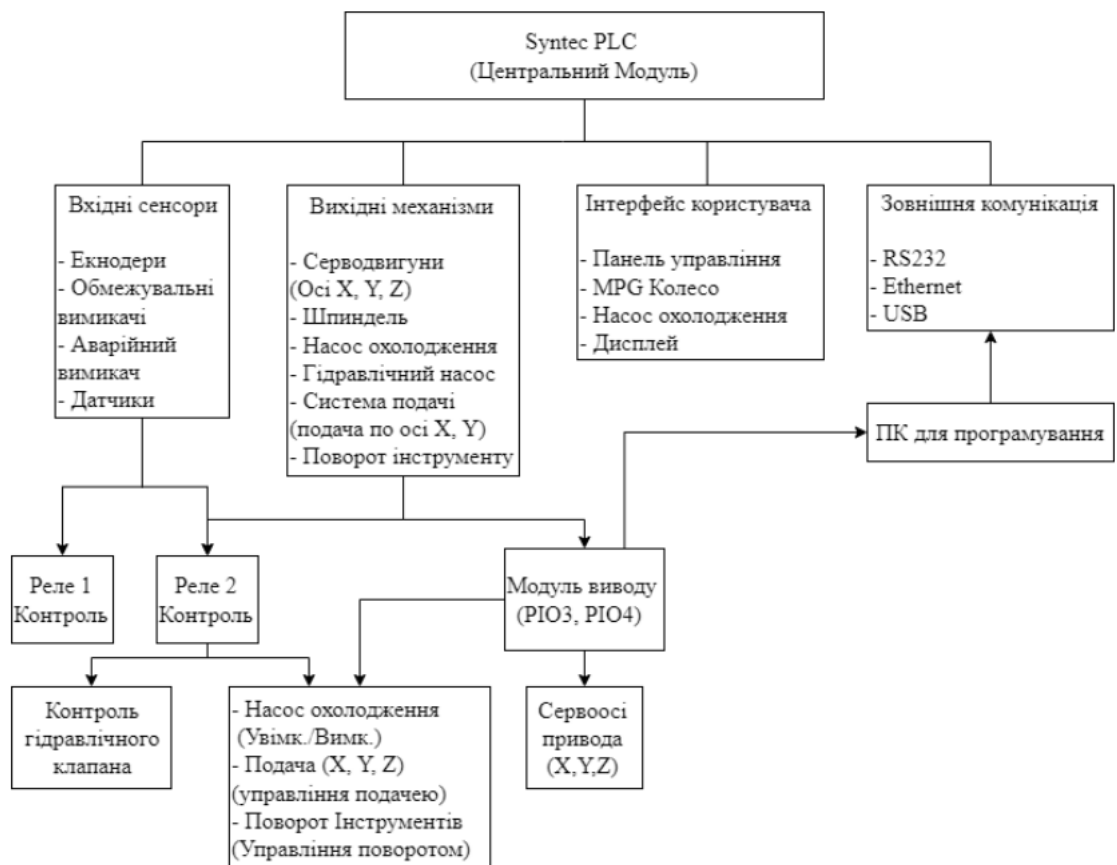


Рисунок 5.1 – Функціональна схема системи управління токарним верстатом

У сучасних системах числового програмного керування важливу роль відіграють елементи, що забезпечують збирання, аналіз і реалізацію команд

керування. Вхідні сенсори здійснюють моніторинг параметрів верстата або технологічного процесу, передаючи дані до центрального контролера для подальшої обробки. Енкодери визначають положення та переміщення осей, а кінцеві вимикачі стежать за досягненням граничних точок ходу механізмів, запобігаючи аварійним ситуаціям. Аварійний вимикач (E-STOP) миттєво знеструмлює систему у разі небезпеки, гарантує безпеку користувача та обладнання. Також застосовуються спеціалізовані датчики для вимірювання температури, тиску та інших технологічно важливих величин.

Реле в системі використовуються для комутації силових ланцюгів двигунів, насосів та іншого обладнання. У даній схемі передбачено два реле – Реле 1 та Реле 2, які відповідають за керування функціями живлення та виконавчими пристроями.

Блок вихідних механізмів включає елементи, що безпосередньо виконують дії за командами контролера: серводвигуни для управління переміщенням по осях X, Y, Z; шпиндель, який обертає інструмент; насос для охолодження, що запобігає перегріву під час обробки; гідравлічний насос, який забезпечує необхідний тиск для функціонування гідросистем.

Інтерфейс користувача надає оператору засоби для взаємодії з системою, налаштування параметрів та контролю за її роботою. До нього входять:

- Панель управління з кнопками та індикаторами для ручного керування;
- MPG колесо для точного переміщення осей у ручному режимі;
- Дисплей, що відображає технічні параметри, повідомлення про помилки, поточний стан системи.

Для забезпечення зв'язку з зовнішніми пристроями або системами використовуються інтерфейси RS232, Ethernet та USB, які дозволяють налаштовувати обладнання, збирати дані або забезпечувати дистанційний моніторинг.

Модулі вводу/виводу (PIO3, PIO4) дають змогу розширити функціональні можливості системи, додаючи нові датчики або виконавчі пристрої.

Окреме місце посідає ПК, який використовується для налаштування, розробки керуючих програм, визначення параметрів обробки та обчислення траєкторій руху.

Робочий цикл реалізується наступним чином: оператор задає необхідні параметри через інтерфейс, далі вхідні сенсори зчитують стан верстата та передають дані до центрального модуля. Контролер аналізує інформацію та подає команди на виконавчі механізми через реле. Усі процеси візуалізуються на дисплеї та можуть коригуватися за допомогою елементів керування, таких як MPG колесо. Для обміну даними з іншими пристроями застосовуються стандартні комунікаційні інтерфейси.

Розроблена функціональна схема наочно демонструє всі ключові складові системи керування токарним верстатом, включаючи механізми подачі, обертання, охолодження та діагностики, що критично важливо для забезпечення високої точності та ефективності технологічної обробки.

Таблиця 5.1 – Компоненти схеми управління верстата з ЧПК

№ п/п	Компонент	Деталі
1	Серводвигун	Колекторний двигун постійного струму, KL34-180-90
2	Привід осі	Gecko Drive G320X
3	Енкодер	CUI AMT102
4	Блок живлення	80VDC
5	Контролер	Raspberry Pi 3 Model B+
6	Плата вводу / виводу	Arduino Mega 2560
7	Шпindelний двигун	Трифазний, 2,2 кВт, асинхронний двигун, RTM-80
8	Частотний перетворювач	NowforEver E100
9	Датчик струму	CZH-LABS D-1020

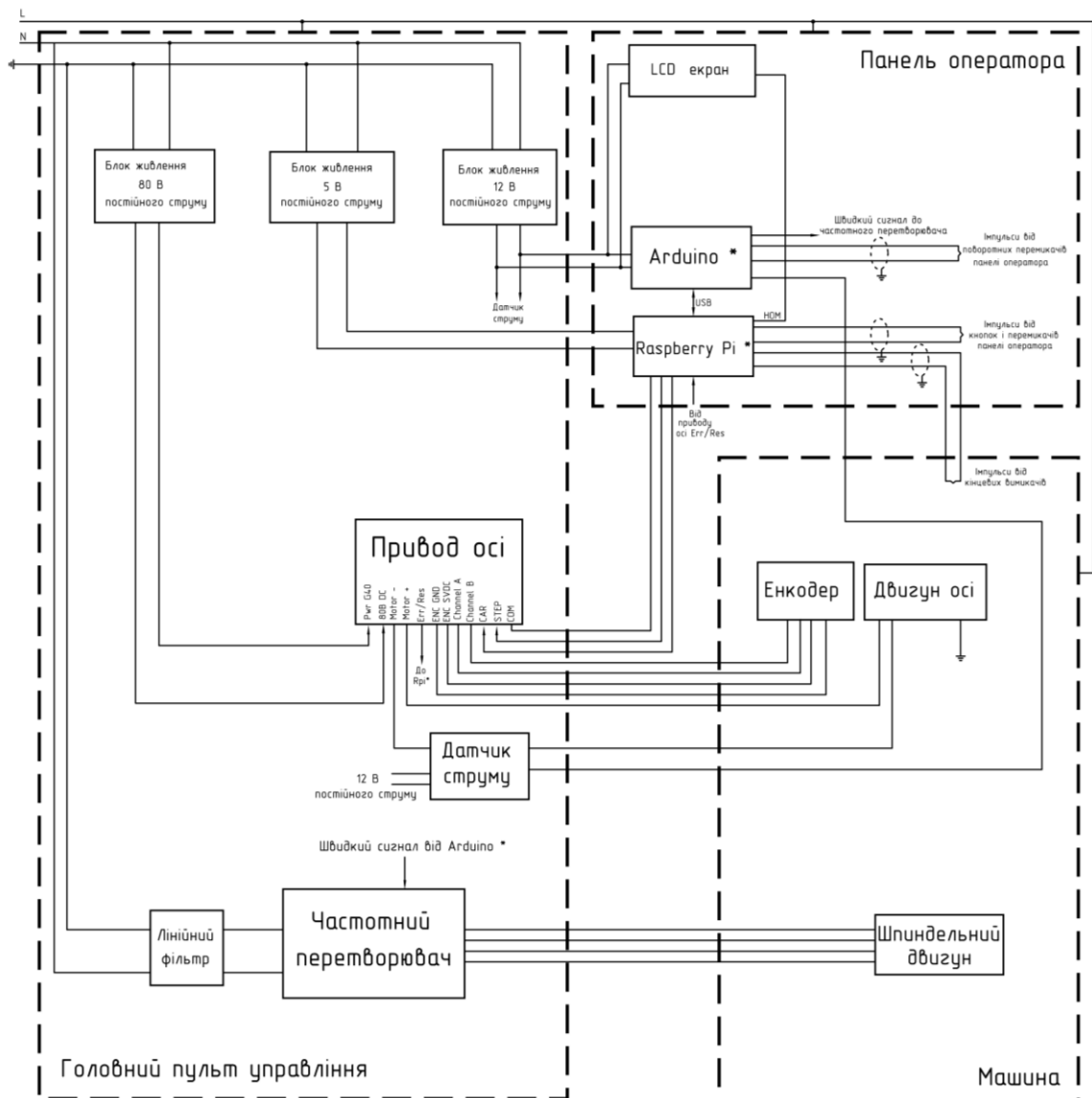


Рисунок 5.2 – Електрична схема управління токарним верстатом з ЧПК

## 5.2. Опис загальної системи керування автоматизованої системи керування токарним верстатом

Настільний токарний верстат 9CRAFT WM210V характеризується високою якістю виготовлення та наявністю автоматичної поздовжньої і поперечної подачі. У передній бабці розташована коробка швидкостей, яка дозволяє регулювати крутний момент відповідно до обраної частоти обертання шпинделя. У деяких модифікаціях верстата передбачено коробку подач, що забезпечує можливість нарізання різьби без необхідності перестановки шестерень у гитарі.

Верстат підтримує нарізання метричної, дюймової, модульної та різьбової різьби. Оснащується асинхронним електродвигуном потужністю 1100 Вт, з опціональним варіантом трифазного двигуна на 380 В. Передача крутного моменту до коробки передач здійснюється за допомогою двох клинових ременів.

Станина верстата виготовлена з загартованого матеріалу та має прецизійно відшліфовану поверхню, що забезпечує довговічність і точність обробки. Зміна напрямку обертання шпинделя виконується за допомогою зручного важеля на супорті, що особливо зручно при нарізанні різьби.

Верстат обладнаний токарним патроном діаметром 160 мм та має прохідний отвір у шпинделі розміром 38 мм. Завдяки масивній конструкції супорта досягається висока якість обробки поверхні заготовок. Виробництво верстатів 9CRAFT WM210V передбачає як внутрішній, так і зовнішній контроль якості.

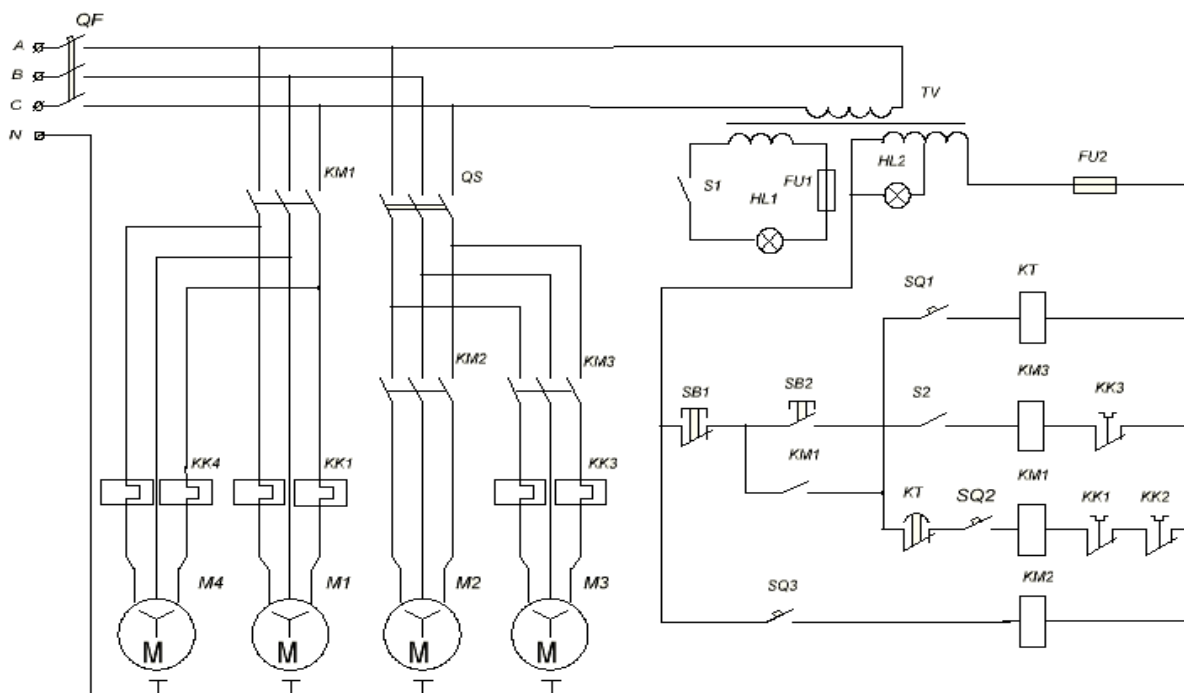


Рисунок 5.3 – Електрична принципова схема токарного верстата 9CRAFT WM210V

### 5.3 Висновки і пропозиції

Верстат 9CRAFT WM210V має високу якість виготовлення та добре продумані функції, що забезпечують високу точність і зручність в експлуатації.

Це робить його придатним для широкого спектра токарних робіт, зокрема нарізання різьблення різних типів.

Введення автоматизованої системи керування (АСК) на токарних верстатах дозволяє значно покращити точність обробки деталей та підвищити продуктивність. Завдяки застосуванню мікропроцесорних контролерів та цифрових приводів, система забезпечує точне позиціонування інструментів і механізмів, що сприяє зменшенню похибок у роботі верстатів.

Автоматизація керування за допомогою ЧПК значно знижує вплив людського фактора на якість обробки, дозволяючи зменшити ймовірність помилок і покращити стабільність процесу обробки.

Система ЧПК дозволяє оптимізувати використання енергетичних та матеріальних ресурсів, що сприяє зниженню витрат на виробництво та покращенню енергоефективності. Автоматичне налаштування параметрів і режимів роботи мінімізує витрати енергії та матеріалів.

Впровадження функцій безпеки, таких як аварійні вимикачі та моніторинг технічних параметрів, гарантує підвищення безпеки виробничих процесів та захист персоналу від небезпечних ситуацій.

### **Пропозиції:**

1. Рекомендується розробити та впровадити систему числового програмного керування для токарних верстатів, що дозволить автоматизувати налаштування та управління процесами обробки. Це зменшить час налаштування та дозволить точніше виконувати складні операції.

2. Для подальшого підвищення точності і ефективності, можна додати додаткові сенсори, що забезпечать моніторинг більше параметрів (наприклад, вібрації, точності руху тощо), що дозволить вчасно виявляти несправності та коригувати роботу верстата.

3. Рекомендується розширити функціональні можливості верстатів через додавання інтерфейсів для віддаленого моніторингу та керування, що дозволить інтегрувати верстат у більш складні автоматизовані виробничі лінії та зменшити час реагування на аварійні ситуації.

4. Розробка спеціалізованих програм для налаштування і програмування верстатів з ЧПК допоможе оптимізувати обробку виробів та покращить керованість системи в цілому. Це дозволить швидше адаптувати верстат під різні виробничі завдання та забезпечити більш високу якість виконання.

5. Враховуючи високі вимоги до енергоефективності, варто впровадити частотні перетворювачі для більш гнучкого управління споживанням електроенергії. Це дозволить зменшити витрати енергії на різних етапах обробки.

Ці пропозиції допоможуть підвищити конкурентоспроможність підприємства, зменшити витрати і значно покращити якість та точність виробничих процесів.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

**Охорона праці при роботі автоматизованої системи керування токарним верстатом.** Автоматизація токарних верстатів значно підвищує продуктивність і безпеку роботи, але водночас вимагає дотримання певних вимог охорони праці для запобігання аварійним ситуаціям, травмам і несправностям обладнання.

**Загальні вимоги безпеки.** Перед початком роботи оператор повинен пройти відповідний інструктаж і мати кваліфікаційну групу з електробезпеки (не нижче II групи). Автоматизований верстат повинен бути обладнаний системами аварійного зупину, блокування доступу до небезпечних зон і захисними кожухами. Необхідно проводити регулярні інспекції електрообладнання та механічних вузлів на предмет зносу та несправностей. Робоча зона верстата повинна бути позначена попереджувальними знаками та обмежена для сторонніх осіб.

**Електробезпека.** Автоматизована система керування повинна мати надійне заземлення для захисту від ураження електричним струмом. Усі елементи електричної системи повинні відповідати нормам ПУЕ (Правил улаштування електроустановок). Обслуговування електричних компонентів може виконувати тільки кваліфікований персонал після повного знеструмлення системи. Для запобігання перегріву електрообладнання необхідно забезпечити належну вентиляцію та регулярний контроль температури.

**Захист від механічних ризиків.** Токарний верстат повинен мати захисні екрани для запобігання викиду стружки та контакту з рухомими частинами. Заборонено виконувати ручне втручання в процес обробки без повної зупинки обладнання. Використання інструменту повинно здійснюватися відповідно до технічних характеристик та рекомендацій виробника. Всі кріпильні елементи верстата та інструменту повинні бути надійно закріплені перед запуском системи.

**Ергономіка та комфорт працівників.** Робоче місце оператора має бути добре освітлене та оснащене зручними органами керування. Вібрація та шум від верстата повинні бути мінімізовані за рахунок амортизаторів та звукоізоляційних матеріалів. Оператору слід використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри – для запобігання потраплянню стружки в очі; рукавички – для захисту рук при обслуговуванні; спецодяг – для захисту від механічних і термічних пошкоджень.

**Протипожежна безпека.** Токарний верстат повинен бути оснащений пристроями аварійного відключення живлення. У приміщенні необхідно встановити вогнегасники та дотримуватися норм пожежної безпеки. Заборонено використання горючих рідин і матеріалів поблизу робочої зони верстата.

**Надзвичайні ситуації та евакуація.** Оператор повинен знати порядок дій у разі аварійного відключення верстата або збоїв у системі автоматизації. Евакуаційні виходи повинні бути вільними, а шляхи евакуації – позначеними відповідними знаками. Необхідно регулярно проводити навчання персоналу щодо дій у разі аварії або пожежі. Дотримання всіх зазначених вимог дозволить знизити рівень виробничих ризиків та забезпечити безпечну й ефективну роботу автоматизованої системи керування токарним верстатом.

## 7 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

**Економічне обґрунтування автоматизованої системи керування токарним верстатом.** Автоматизація токарного верстата 9CRAFT WM210V спрямована на підвищення продуктивності, зниження витрат на ручну працю, підвищення точності обробки деталей та оптимізацію виробничого процесу. Економічне обґрунтування автоматизації включає аналіз початкових витрат, економії ресурсів, підвищення продуктивності та прогнозованого терміну окупності.

Автоматизація включає встановлення числового програмного керування (ЧПК), додаткових датчиків, електроприводів та програмного забезпечення для управління процесами.

Таблиця 7.1 – Основні витрати

Найменування	Вартість, грн
Токарний верстат 9CRAFT WM210V	35 000
Контролер ПЛК150 (ЧПК)	12 000
Серводвигуни та драйвери для осей X, Z	18 000
Датчики кінцевих положень, енкодери	7 000
Електроцит та кабелі	5 000
Впровадження програмного забезпечення та калібрування	10 000
Монтаж та навчання персоналу	8 000
<b>Загальні витрати</b>	<b>95 000</b>

**Вибір оптимального технічного рішення.** Розглянемо два варіанти автоматизації токарного верстата: базовий та вдосконалений (більш потужний). Оптимальність обирається за методом порівняльної економічної ефективності:

$$E = \frac{B_1 - B_2}{K_2 - K_1} \quad (7.1)$$

де  $B_1, B_2$  – річні витрати для першого та другого варіанта, грн;

$K_1, K_2$  – капіталовкладення для першого та другого варіанта, грн.

Розрахунок капіталовкладень:

$$K = K_y + K_T + K_M + K_6 \quad (7.2)$$

де  $K_y$  – вартість обладнання, грн;

$K_T$  – транспортно-складські витрати, грн;

$K_M$  – монтажні роботи, грн;

$K_6$  – будівельні витрати (якщо потрібне нове приміщення).

Для базового верстата:

$$K_y = 45000 \text{ грн}; K_T = 3500 \text{ грн}; K_M = 8000 \text{ грн}; K_6 = 0 \text{ грн.}$$

$$K_1 = 45000 + 3500 + 8000 + 0 = 56500 \text{ грн.}$$

Для потужного верстата:

$$K_y = 110000 \text{ грн}; K_T = 6000 \text{ грн}; K_M = 12000 \text{ грн}; K_6 = 0 \text{ грн.}$$

$$K_2 = 110000 + 6000 + 12000 + 0 = 128000 \text{ грн.}$$

Поточні витрати:

$$V = V_z + V_e + V_{\Pi} + V_a + V_{зп} \quad (7.3)$$

де  $V_z$  – витрати на зарплату;

$V_e$  – витрати на електроенергію;

$V_a$  – амортизація та ремонт;

$V_{зп}$  – витрати на запасні частини;

$V_n$  – непередбачені витрати.

Для базового верстата:

$$V_z = 50 \text{ люд.год.} \cdot 50 \text{ грн} = 2500 \text{ грн};$$

$$V_e = 50000 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ грн} = 300000 \text{ грн};$$

$$V_a + V_p = (9\% \cdot 56500) + (5\% \cdot 56500) = 5085 + 2825 = 7910 \text{ грн};$$

$$B_{\text{зп}} = 10000 \text{ грн};$$

$$B_{\text{н}} = 0,3 \cdot (B_{\text{а}} + B_{\text{р}}) = 0,3 \cdot 7910 = 2373 \text{ грн};$$

$$B_1 = 2500 + 300000 + 7910 + 10000 + 2373 = 322783 \text{ грн}$$

Для потужного верстата:

$$B_3 = 70 \text{ люд.год.} \cdot 50 \text{ грн} = 3500 \text{ грн};$$

$$B_{\text{е}} = 75000 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ грн} = 450000 \text{ грн};$$

$$B_{\text{а}} + B_{\text{р}} = (9\% \cdot 128000) + (5\% \cdot 128000) = 11520 + 6400 = 17920 \text{ грн};$$

$$B_{\text{зп}} = 12000 \text{ грн};$$

$$B_{\text{н}} = 0,3 \cdot (B_{\text{а}} + B_{\text{р}}) = 0,3 \cdot 17920 = 5376 \text{ грн};$$

$$B_2 = 3500 + 450000 + 17920 + 12000 + 5376 = 488796 \text{ грн}$$

Визначення економічної ефективності:

$$E = \frac{488796 - 322783}{128000 - 56500} \approx 2,32$$

Оскільки  $E > E_{\text{н}} = 0,08$ , вибір потужнішого верстата економічно виправданий.

Строк окупності додаткових вкладень ( $T$ , року):

$$T = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} \quad (7.4)$$

$$T = \frac{128000 - 56500}{488796 - 322783} \approx 0,43 \text{ роки}$$

Таким чином, додаткові вкладення окупляться менш ніж за пів року.

Впровадження автоматизованої системи керування для токарного верстата 9CRAFT WM210V забезпечує:

- зниження витрат на ручну працю;

- підвищення точності та якості виробів;
- зменшення рівня браку;
- економію електроенергії;
- високу швидкість окупності – близько 1,5 місяця.

Таким чином, автоматизація є доцільною та економічно вигідною, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємства та оптимізувати виробничі процеси.

Впровадження автоматизованої системи керування для токарного верстата 9CRAFT WM210V забезпечує: зниження витрат на ручну працю; підвищення точності та якості виробів; зменшення рівня браку; економію електроенергії; високу швидкість окупності – близько 1,5 місяця.

Техніко-економічні показники автоматизації токарного верстата 9CRAFT WM210V наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Техніко-економічні показники автоматизації токарного верстата 9CRAFT WM210V

№ п/п	Показники	Базовий верстат	Вдосконалений верстат
1	Капітальні вкладення, грн	56 500	128 000
2	Витрати на зарплату, грн/рік	2500	3500
3	Витрати на електроенергію, грн/рік	300000	450000
4	Витрати на амортизацію та ремонт, грн/рік	7910	17920
5	Витрати на запасні частини, грн/рік	10000	12000
6	Непередбачені витрати, грн/рік	2373	5376
7	Загальні річні витрати, грн	322783	488796
8	Економічна ефективність (Е)	-	2,32
9	Строк окупності додаткових вкладень, років	-	0,43
10	Зниження витрат на ручну працю, %	-	30
11	Підвищення точності обробки, %	-	25
12	Зменшення рівня браку, %	-	20
13	Економія електроенергії, %	-	15

Вдосконалений верстат з автоматизованою системою керування, попри вищі початкові витрати, демонструє значно кращі економічні показники: швидку окупність (менше пів року), зниження експлуатаційних витрат та підвищення

якості виробів. Це робить впровадження автоматизації економічно вигідним і доцільним рішенням для оптимізації виробництва та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційний проект присвячений реконструкції системи електрифікації токарного цеху ТОВ «Завод Кобзаренка» з розробкою автоматизованої системи керування токарним верстатом. Проект охоплює комплексний підхід до модернізації виробничої інфраструктури, включаючи вибір і налаштування силового електрообладнання, розрахунок освітлення, розробку автоматизованої системи керування (АСК) та економічне обґрунтування.

Проведено детальний аналіз існуючої системи електропостачання. Вибрано оптимальне обладнання для автоматизації токарного верстата, зокрема верстат 9CRAFT WM210V з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Спроектовано схему електропостачання та освітлення, що враховує енергоефективність та безпечні умови праці.

Розроблено систему керування на базі програмованого логічного контролера (ПЛК), яка забезпечує точність обробки деталей і знижує вплив людського фактора.

Впроваджено сенсори та виконавчі механізми для моніторингу стану верстата та попередження аварійних ситуацій.

Враховано всі аспекти безпеки, включаючи електробезпеку, механічні ризики, захист від ураження струмом, систему аварійної зупинки.

Виконано розрахунок капіталовкладень, експлуатаційних витрат та строку окупності.

Показано, що автоматизація дозволяє значно знизити витрати на ручну працю, скоротити енергоспоживання та підвищити продуктивність.

Впровадження розробленої системи автоматизації сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства та зростанню його виробничої потужності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications / Landau I. D., Lozano R., Saad M. M., Karimi A.
2. Базь О. С., Захаренко Г. С. Токарна справа. Частина 1: навч. посіб. – Чернівці: Букрек, 2020. – 272 с.
3. ДСТУ 3.3:2011. Охорона праці. Загальні вимоги.
4. ДСТУ 3.4:2011. Охорона праці. Вимоги до безпеки при роботі з верстатами.
5. ДСТУ ІЕС 60204-1:2018. Безпека машин. Електрообладнання машин.
6. Василега П. О. Електропривод робочих машин. – Суми: СумДУ, 2022. – 290 с.
7. Рогач С. М., Суліма Н. М., Гуцул Т. А., Ярема Л. В. Економіка сільського господарства: навч. посіб. – Київ: ЦП "Компринт", 2018. – 517 с.
8. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. та ін. Основи безпечної експлуатації електроустановок: підруч. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
9. Повний посібник із токарних верстатів і процесів з ЧПК / ETCN \[Електронний ресурс].
10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ 2017) \[Електронний ресурс].
11. Lutsenko I. Systems engineering of optimal control I. Synthesis of the structure of the technological product conversion system (part 1)
12. Sun C., Dominguez-Caballero J., Ward R., Ayvar-Soberanis S., Curtis D. Machining Cycle Time Prediction: Data-driven Modelling of Machine Tool Feedrate Behavior with Neural Networks
13. Yang C., Tao F. Digital Twin Driven Smart Manufacturing: Industrial Applications, Control and Optimization. – Elsevier, 2021. – 250 с.
14. Groover M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. – 4th ed. – Pearson, 2020. – 816 p.
15. Gupta S. Practical Industrial Internet of Things Security. – Apress, 2020. – 368 p.

16. Топчій І. М. (ред.) Сучасні електромеханічні системи: навч. посіб. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2021. – 276 с.
17. Сахнюк В. І., Павлюк М. П. Електротехніка та основи електроніки: навч. посіб. – Кам'янець-Подільський: Аксіома, 2020. – 192 с.
18. Rao S. S. Engineering Optimization: Theory and Practice. – 5th ed. – Wiley, 2023. – 840 p.
19. Khan F., Iqbal A., Elbouchikhi E. Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis. – CRC Press, 2022. – 460 p.
20. Davis M. L. Electrical Safety: Systems, Sustainability, and Stewardship. – CRC Press, 2020. – 328 p.