

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських  
технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»

Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі»  
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування  
на тему «Модернізація цифрової індикації переміщень координат із  
встановленням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків  
на горизонтально-розточувальному верстаті IC 2A636Ф1»

Керівник роботи



Богдан ЦИМБАЛ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними.*

Здобувач



Дмитро ЦУРКАН

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олег БОНДАР



Запоріжжя 2026



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
ОПП	Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

«24» березня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Цуркану Дмитру Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Модернізація цифрової індикації переміщень координат із встановленням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків на горизонтально-розточувальному верстаті IC 2A636Ф1  
керівник роботи (проєкту) Цимбал Богдан Михайлович, доктор наук з державного управління, доцент

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

затверджені наказом Університету від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 22.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з обраної тематики, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ТОВ «МЕТІНВЕСТ МАШИНЕРІ» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз конструкції та системи індикації переміщень горизонтально-розточувального верстата IC 2A636Ф1. 2. Розробка системи цифрової індикації координат із застосуванням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків. 3. Моделювання та дослідження роботи системи цифрової індикації переміщень координат. 4. Техніко-економічне обґрунтування модернізації системи цифрової індикації координат верстата. 5. Охорона праці та безпека експлуатації горизонтально-розточувального верстата. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: презентація за темою кваліфікаційної роботи та креслення:

1. Загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата IC 2A636Ф1 – креслення, формат А3 – 1 арк.

2. Кінематична схема горизонтально-розточувального верстата IC 2A636Ф1 – схема, формат А3 – 1 арк.
3. 3D-модель горизонтально-розточувального верстата з модернізованою системою індикації координат – модель (візуалізація), формат А3 – 1 арк.
4. Структурна схема системи цифрової індикації переміщень координат верстата – схема, формат А3 – 1 арк.
5. Функціональна схема системи цифрової індикації з використанням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків – схема, формат А3 – 1 арк.
6. Схема встановлення датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків на координатних осях верстата – креслення, формат А3 – 1 арк.
7. Схема підключення датчиків до блоку цифрової індикації – схема, формат А3 – 1 арк.
8. Монтажна схема розміщення елементів системи цифрової індикації (блок індикації, датчики, кабельні з'єднання) – креслення, формат А3 – 1 арк.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)

7. Дата видачі завдання 09 березня 2026 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проєкта)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз конструкції та системи індикації переміщень горизонтально-розточувального верстата IC 2A636Ф1	20.04.2026 – 24.04.2026	
2	Розділ 2. Розробка системи цифрової індикації координат із застосуванням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків	27.04.2026 – 01.05.2026	
3	Розділ 3. Моделювання та дослідження роботи системи цифрової індикації переміщень координат.	04.05.2026 – 08.05.2026	
4	Розділ 4. Техніко-економічне обґрунтування модернізації системи цифрової індикації координат верстата	11.05.2026 – 15.05.2026	
5	Розділ 5. Охорона праці та безпека експлуатації горизонтально-розточувального верстата.	18.05.2026 – 22.05.2026	
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	25.05.2026 – 29.05.2026	

7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	01.06.2026 – 05.06.2026	
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	08.06.2026 – 12.06.2026	
8	Рецензування завершеної роботи.	15.06.2026 –19.06.2026	
9	Захист	22.06.2026 – 26.06.2026	

Здобувач

(підпис)

Дмитро ЦУРКАН

(ПІБ)

Керівник

(підпис)

Богдан ЦИМБАЛ

(ПІБ)

## АНОТАЦІЯ

Цуркан Дмитро Вадимович. Модернізація цифрової індикації переміщень координат із встановленням датчиків кругових переміщень та магнітних датчиків на горизонтально-розточувальному верстаті ІС 2А636Ф1 підвищення ефективності роботи верстата. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Метою кваліфікаційної роботи є збільшення кількості виготовлення готових деталей процесу металообробки на горизонтально-розточувальному верстаті шляхом автоматизації електроприводу переміщення шпіндельної бабки та встановлення індикації та датчиків позиціонування.

Об'єктом дослідження є мехатронна система горизонтально-розточувального верстату.

Предметом дослідження є автоматизація системи позиціонування горизонтально-розточувального верстату.

У першому розділі розглянуто питання стосовно роботи верстату та основних його частин.

У другому розділі проведено аналіз технічної частини обладнання.

У третьому розділі детально виконана заміна головного приводу постійного струму на змінний, розробка компонування приводної системи верстату, вибір вимірювальних перетворювачів швидкості, виконано конфігурування існуючого енкодера з приводною частиною верстата та будівництва головного модуля керування верстатом.

У четвертому розділі доведено економічні показники проєкту з прорахунками.

У п'ятому розділі додана охорона праці з вимогами та правилами безпеки.

У графічній частині наведені: модулі вхідних та вихідних сигналів, функціональна схема підключення активного модуля живлення та конфігурований модуль управління верстатом.

ІС 2А636Ф1, ДАТЧИК, КЕРУВАННЯ, ЕНКОДЕР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕНКОДЕР, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ІНТЕРФЕЙС, СИГНАЛ, ДВИГУН, ІНДИКАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	7
1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ .....	11
1.1 Літературний огляд рішень технологічного процесу механообробки .....	11
1.2 Технічні дані .....	12
1.2.1 Приводний комплекс та кінематика подач .....	12
1.2.2 Координатна система та засоби вимірювання (УЦІ) .....	13
1.2.3 Система електроживлення та розподілу навантаження .....	13
1.3 Описання режиму роботи верстату .....	15
1.4 Алгоритми керування головним електроприводом .....	17
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....	19
2.1 Основні переваги системи позиціонування .....	19
2.2 ПЦІ для відображення позиціонування .....	25
2.3 Електропривод подачі .....	28
2.4 Математичне моделювання електродвигуна шпіндельної бабки .....	29
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	31
3.1 Вибір вимірювальних перетворювачів швидкості .....	31
3.2 Конфігурація приводної частини подач (X, Y, W) .....	38
3.3 Конфігурація модуля живлення .....	39
3.4 Конфігурація процесора Lenze з приводною системою .....	40
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ .....	42
4.1 Витрати на підтримання проєкту .....	44
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	48
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів .....	49
5.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці .....	51
ВИСНОВКИ .....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	53
ДОДАТОК А МОДУЛІ ДИСКРЕТНИХ ВХОДІВ ТА ВИХОДІВ .....	55
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....	58



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач.  
ГС – гідросупорт.  
КВТ – кіловат.  
ЧПУ – числове програмне управління.  
АС – змінний струм.  
ASIC – інтегральна схема спеціального призначення.  
DC – постійний струм.  
DSP – цифрова обробка сигналів.  
FKGH – Fruitz Kuebler GmdH.  
FPGA – Field-Programmable Gate Array Програмована користувачем  
вентильна матриця.  
JP – джемпер.  
ON – команда для дозволу роботи перетворювача.  
ORCM – команда для орієнтованого гальмування.  
RE – команда для нулювання захистів.  
SR/SF – команди для керування напрямком обертання двигуна.  
TLH – команда для обмеження моменту на високому рівні.  
TLL – команда для обмеження моменту на низькому рівні.

## ВСТУП

Розточувальна група верстатів (згідно з класифікатором - група 2) являє собою важке металорізальне обладнання, що функціонує за принципом максимальної концентрації технологічних переходів. Основним інженерним завданням цього обладнання є фінішна обробка великогабаритних і складних за конфігурацією корпусних деталей, рамних конструкцій та картерів в умовах як одиничного (ремонтного), так і багатомономенклатурного серійного виробництва.

Ключова перевага кінематичної схеми цих верстатів полягає у можливості виконання повного циклу механічної обробки за один установ. Це дозволяє виключити похибки перебезування, ліквідувати накопичення похибок у розмірних ланцюгах та досягти жорстких допусків взаємного розташування поверхонь (співвісності, перпендикулярності та паралельності осей).

Завдяки універсальності шпindelного вузла, верстати здатні виконувати широкий спектр операцій за сукупними осями координат:

1) прецизійна осьова обробка: чорнове, напівчистове та чистове розточування циліндричних і конічних отворів; свердління в суцільному матеріалі; зенкерування для підготовки геометрії; чистове розгортання для досягнення квалітетів точності IT6–IT7;

2) формоутворення нарізей: нарізування внутрішніх та зовнішніх метричних, дюймових, трапецеїдальних і спеціальних різьб за допомогою мікрометричних різців або різьбонарізних головок;

3) комбінована обробка поверхонь: обточування зовнішніх циліндричних поверхонь великого діаметра (із застосуванням планшайби), підрізання торців, обробка канавок та цекування;


4) контурне фрезерування: площинне торцеве фрезерування поверхонь стику корпусів, а також периферійне (циліндричне) фрезерування пазів, уступів та складних контурів за допомогою інтерполяції осей.

Головною класифікаційною ознакою обладнання є архітектура шпindelного вузла, який забезпечує передачу крутного моменту (головний рух різання) та лінійне переміщення (рух осьової подачі).

Залежно від габаритів та компонування верстата, робочі (X, Y, Z, W) та допоміжні координати розподіляються між основними вузлами у такий спосіб:

1) шпindelна бабка: переміщується вертикально по напрямних передньої стійки (координата Y), забезпечуючи висотне позиціонування інструменту;

2) шпindelний вузол: складається з порожнистого фрезерного шпинделя та внутрішнього висувного розточувального шпинделя (координата W), що дозволяє обробляти глибокі отвори без втрати жорсткості;



3) робочий стіл (поворотний): реалізує поздовжнє (вісь Z) та поперечне (вісь X) переміщення заготовки. Наявність вбудованого поворотного столу (координата B) з дискретністю позиціонування до  $0.001^\circ$  у сучасних верстатах з ЧПК дозволяє обробляти деталь з чотирьох сторін без зміни схеми базування;

4) задня стійка з люнетом: служить додатковою проміжною опорою для довгих борштанг при двоопорному розточуванні, переміщується синхронно зі шпindelною бабкою по висоті.

Інструментальний інтерфейс та прецизійне оснащення.

Передача крутного моменту на різальний інструмент здійснюється через високоточні конічні отвори шпинделя (ISO 40/50, HSK або конуси Морзе). Для досягнення мікронної точності застосовується спеціалізована оснастка:

Для фінішних операцій використовуються патрони з механізмом тонкого радіального регулювання повзуна. Завдяки вбудованому лімбу (або цифровому індикатору) з ціною поділки  $0.002$  мм, інженер-технолог може компенсувати розмірне спрацювання різця та забезпечити допуск на лінійні розміри в межах до  $10$  мкм ( $pm$   $0.005$  мм) із шорсткістю поверхні  $0.63$  мкм.

Метрологічне забезпечення, базування та підготовка виробництва.

Якість фінішної обробки на розточувальних верстатах закладається на етапі перевірки заготовки та її вивірки на дзеркалі столу.

Попередня підготовка виливків.

Перед встановленням на верстат виливки проходять обов'язкову зачистку (видалення ливників, облою, залишків формувальної суміші, окалини) та термічну стабілізацію (штучне або природне старіння для зняття внутрішніх напружень). Далі виконується контрольна розмітка для визначення фактичних осей та перевірки наявності достатніх припусків на обробку.

Правила базування та кріплення заготовок:

1) рівномірність припусків: заготовка вивіряється так, щоб забезпечити симетричне зняття металу, мінімізуючи вплив неоднорідності твердості поверхневого шару;

2) мінімізація деформацій: зусилля затиску притискних елементів (домкратів, струбцин) не повинно викликати пружних деформацій корпусу, які після зняття деталі з верстата перетворюються на геометричний брак;

3) жорсткість: точки кріплення повинні знаходитися безпосередньо над опорними точками (підкладками) на станині.

Для виключення похибки розбиття отворів перед початком різання реалізується процедура координації: вирівнювання геометричної осі шпинделя, борштанги та опорної втулки (люнета задньої стійки) в одну лінію.



В сучасному виробництві для цього застосовуються:

1) індикаторні центрошукачі (визначення биття за допомогою індикаторів годинникового типу 0.01 або 0.001 мм);

2) оптичні та лазерні центральні системи (використання лазерного променя для контролю неспіввісності на великих вільотах борштанг);

3) вимірювальні 3D-щупи (Touch Probe) типу Renishaw, які в автоматичному режимі інтегруються в систему ЧПК верстата, визначають координати опорних поверхонь та автоматично вносять корекцію в зміщення нуля деталі (G54-G59);

4) метод пробних проточок (для контролю безпосередньо за фактом різання на чорнових етапах).

Розточувальна група металорізального обладнання інтегрує в собі функціонал багатоосьової прецизійної обробки і застосовується для фінішного формоутворення складних корпусних деталей, інструментального оснащення (штампів, прес-форм, кондукторів) та великогабаритних вузлів.

Технологічні можливості та кінематична схема обробки.

Основним призначенням обладнання є чистове та напівчистове розточування внутрішніх циліндричних поверхонь у діапазоні діаметрів від 3-5 мм до екстремальних макророзмірів, що лімітуються лише вильотом шпинделя та габаритами робочої зони.

Окрім базового розточування, кінематика верстатів дозволяє реалізувати повний спектр технологічних переходів за одну установку деталі:

1) осьова обробка: швидкісне та силове свердління, зенкерування, точне розгортання, а також формування центрових отворів;

2) контурне та площинне фрезерування: обробка торців, відкритих площин, уступів та технологічних канавок за допомогою торцевих і кінцевих фрез;

3) різьбонарізання: генерація внутрішніх та зовнішніх різьбових профілів за допомогою метчиків, плашок або спеціальних різьбових різців із синхронізацією кроку подачі шпинделя;

4) обробка конічних та фасонних поверхонь: реалізується шляхом комбінації інтерполяційних рухів або застосування спеціальних супортів планшайби.

Координатно-розточувальні верстати відносяться до категорії прецизійного обладнання та експлуатуються в термостабільних цехах. Завдяки інтеграції високоточних лінійних шкал, оптичних або лазерних відлікових систем позиціонування робочого столу по осях X та Y, обладнання забезпечує досягнення 6-го квалітету точності (IT6) та мінімальну похибку міжосьових відстаней у межах 0-1 мм. Це виключає потребу в попередній слюсарній розмітці заготовок, оскільки верстат здатний виконувати функцію вимірювально-координатної машини з високою жорсткістю СПІД (Станок-Пристосування-Інструмент-Деталь).



Базування заготовки, інструментальне налаштування та розподіл рухів.

Функціональний цикл обробки забезпечується чітким розподілом робочих та допоміжних рухів між виконавчими вузлами верстата:

1) базування заготовки: оброблювана деталь жорстко фіксується на дзеркалі робочого столу (одинарного або поворотно-індексованого). Налаштовувальні та робочі рухи подачі здійснюються шляхом поздовжнього (вісь Z) та поперечного (вісь X) переміщення столу;

2) генерація головного руху різання: головний рух (обертання інструменту з заданою кутовою швидкістю  $\omega$ ) здійснюється головним шпинделем, змонтованим у шпиндельній бабці;

3) позиціонування інструменту за висотою (вісь Y) реалізується вертикальним переміщенням шпиндельної бабки по напрямних передньої стійки;

4) інструментальна система та жорсткість: при консольній обробці (свердла, фрези, розвертки) інструмент кріпиться безпосередньо в конусі шпинделя (ISO, BT, конус Морзе) або на радіальному супорті планшайби для обточування великих зовнішніх діаметрів.

## 1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

### 1.1 Літературний огляд рішень технологічного процесу механообробки

Важкий розточувальний оброблювальний центр модифікації IC2A636 призначений для координатної та комплексної механічної обробки (чистового розточування, фрезерування, силового свердління, зенкерування та нарізування нарізей) великогабаритних механізмів до 13 000 кг.

Кінематична схема верстата базується на використанні висувного шпинделя діаметром  $\varnothing 125$  мм. Відсутність вбудованої планшайби дозволила суттєво мінімізувати виліт шпиндельного вузла відносно опорних підшипників, що радикально підвищило динамічну жорсткість, вібростійкість та радіальну геометричну точність системи при консольному розточуванні та швидкісному торцевому фрезеруванні на високих режимах різання.

Залежно від рівня автоматизації та контуру керування, базове обладнання розподіляється на дві основні модифікації:

1) модель 2A636Ф1 (виконання з ЦІ): обладнана пристроєм цифрової індикації (ПЦІ) серії ЛІР-532 (виробництва СКБ «ИСКРА»). Призначена для ручного керування з візуалізацією поточних координат по осях (X, Y, Z, W). Забезпечує точність позиціонування розмірних ланцюгів за рахунок виключення людського фактора при зчитуванні лімбів.

2) модель 2A636Ф4 (виконання з ЧПК): повнофункціональний верстат із числовим програмним керуванням. Залежно від виробничих завдань та інтеграції в технологічні лінії, контур замикається на базі систем Балт-Систем NC-110 (оптимально для капітального ремонту/модернізації) або прецизійних систем Siemens Sinumerik 840D. Це дозволяє реалізувати багатоосьову інтерполяцію та складне контурне фрезерування.

Апаратна архітектура та електроавтоматика.

Сучасний електропакет верстата інтегрує високонадійні компоненти провідних світових брендів, що забезпечує стабільність динамічних характеристик:

1) приводи та двигуни: комплектується частотно-регульованими приводами та синхронними серводвигунами Siemens (серії *Simodrive / Sinamics*), що гарантує високий крутний момент на низьких оборотах та плавність ходу по осях подач;

2) зворотний зв'язок (Датчики положення): для контролю лінійних та кутових переміщень використовуються фотоелектричні інкрементні (або абсолютні) вимірювальні системи ЛІР або прецизійні оптичні лінійки Heidenhain із високою роздільною здатністю;

3) гідравлічне та допоміжне обладнання (Спецзамовлення): опціонально верстат оснащується імпоротною гідроапаратурою (модульний монтаж *Rexroth* або *Vickers*) для стабільної роботи систем затиску та перемикання передач, а також телескопічними захистами напрямних європейського типу для запобігання пошкодженню дзеркала станини стружкою та ШОР.

Загальний вид верстату IC2A636Ф1 показано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид верстату IC2A636Ф1

## 1.2 Технічні дані


### 1.2.1 Приводний комплекс та кінематика подач

Електропривод виконавчими механізмами подач реалізований за топологією частотно-регульованого асинхронного/синхронного приводу з використанням трьох електродвигунів змінного струму:

- 1) привод осьового переміщення шпindelного вузла;
- 2) привод вертикального позиціонування шпindelної бабки;
- 3) привод поздовжньо-поперечного переміщення робочого столу.

Кінематична схема побудована за принципом розподіленого за часом керування: живлення та регулювання кутової швидкості всіх трьох двигунів здійснюється від єдиного загальноверстатного перетворювача частоти (ПЧ).

Комутація силових кіл та вибір активної осі виконуються за допомогою релейно-контакторної апаратури керування через інтегровані стопорні ланцюги (електричні та механічні блокування), що



унеможлиблює одночасний запуск нерегламентованих рухів та гарантує жорстку фіксацію неактивних координат [1].

### 1.2.2 Координатна система та засоби вимірювання (УЦІ)

Для забезпечення замкнутого контуру керування та прецизійного позиціонування верстат оснащений двома пристроями цифрової індикації (УЦІ) серії ЛІР-532 та ЛІР-522 (виробництва СКБ «ЛІР»). Комплекс забезпечує знімання сигналів із первинних перетворювачів (лінійних та кутових енкодерів), візуалізацію та формування керуючих команд для п'яти геометричних осей у декартовій та полярній системах координат:

- 1) вісь X: поперечне переміщення робочого столу (перпендикулярно до осі головного шпинделя);
- 2) вісь Y: вертикальне переміщення шпindelної бабки (координата висоти);
- 3) вісь W: поздовжнє переміщення шпindelних саней (груба інсталяція робочої зони вздовж осі обробки);
- 4) вісь Z: мікроподача та робоче заглиблення пінолі (осьовий хід шпинделя);
- 5) вісь B: Кутове позиціонування (кругова подача та індексація) поворотного робочого столу.

### 1.2.3 Система електроживлення та розподілу навантаження

Вхідна лінія силового живлення верстата розрахована на трифазну мережу змінного струму з номінальною напругою 380 В та частотою 50 Гц.

Низьковольтна частина системи керування та логіки промислового контролера (ПЛК) гальванічно ізольована від силової мережі й функціонує під напругою DC 24 В. Для підвищення завадостійкості та надійності системи автоматизації, вторинне живлення розділене на два незалежні контури, побудовані на імпульсних джерелах живлення фірми Mean Well:

Контур дискретних/аналогових входів: Живиться від джерела потужністю 120 Вт (номінальний струм 5 А). Забезпечує стабільну напругу для опитування датчиків, кінцевих вимикачів, кнопок пульта керування та аналогових сенсорів, мінімізуючи вплив комутаційних завад на вхідні каскади ПЛК.

Контур дискретних/аналогових виходів: Живиться від потужнішого джерела на 480 Вт (номінальний струм 20 А).

Цей канал виділений для живлення виконавчих пристроїв: проміжних реле, катушок контакторів, електромагнітних клапанів гідро- та пневморозподільників, які характеризуються високими пусковими струмами та індуктивним навантаженням [5].

Схематичні рішення та технічні характеристики модулів живлення представлено на рисунку 1.2. Комутація монтажних з'єднань зображена на рисунку 1.3. Структурна схема виробу представлена на рисунку 1.4.



■ Features :

- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Cooling by free air convection
- Built-in constant current limiting circuit
- Can be installed on DIN rail TS-35/7.5 or 15
- EN61000-6-2(EN50082-2) industrial immunity level
- 100% full load burn-in test
- Fixed switching frequency at 70KHz
- 3 years warranty

Рисунок 1.2 – Модуль живлення Mean Well 120-24-5

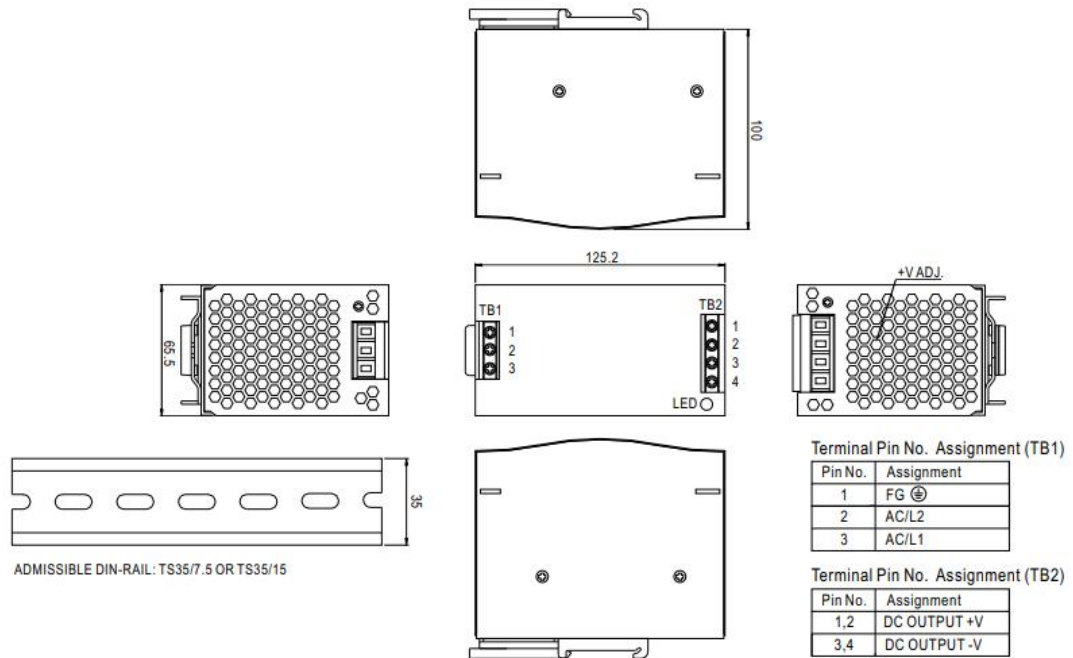


Рисунок 1.3 – Комутація монтажних з'єднань

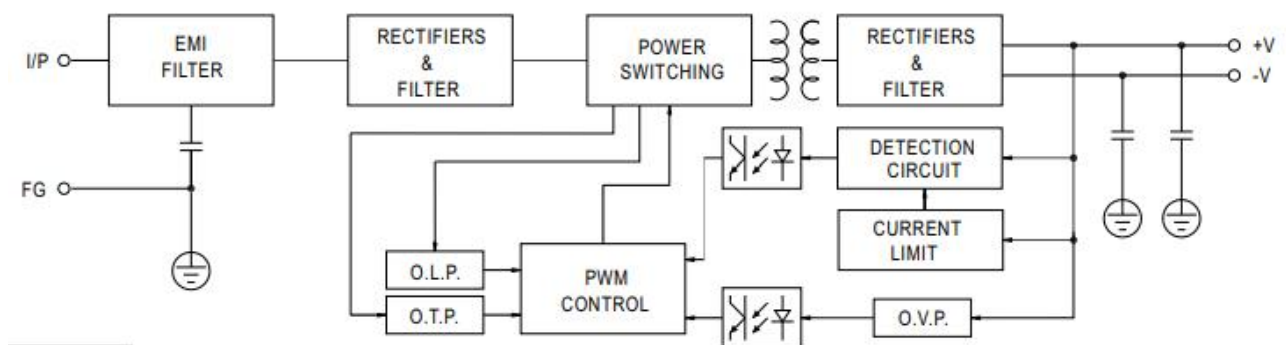


Рисунок 1.4 – Структурна схема виробу

З інтерфейсу ППК виконуються такі інженерно-технологічні операції:

– керування допоміжними системами забезпечення:

1) дистанційний пуск/зупинка електропривода насосної станції попереднього змащення напрямних та шпindelьної бабки з контролем тиску в системі;

2) керування приводом переміщення самого підвісного пульта (позиціонування ППК по висоті та вильоту для забезпечення ергономічної роботи оператора);

3) регулювання та контроль головного руху (кінематики шпинделя):

4) активація робочого режиму обертання шпинделя (пуск, реверс, динамічне гальмування);

5) безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя в режимі реального часу (без зупинки головного привода) у межах увімкненого ступеня механічної коробки швидкостей;

6) керування головним приводом у поштовховому (налагоджувальному) режимі для вивірки деталей та суміщення шліців при переключенні швидкостей;

– керування координатними подачами:

1) селекція виконавчого вузла (шпindelь, шпindelьна бабка, поздовжнє/поперечне переміщення столу або люнета);

2) вибір режиму подачі (робоча, налагоджувальна, прискорена/установча) та оперативне регулювання її величини;

– управління допоміжним технологічним оснащенням:

1) керування гідро- або електромеханізованим приводом затиску/розтиску інструментального хвостовика в конусі шпинделя.

Додаткові інженерні інтеграції (рекомендовано внести в паспорт пульта) - система протиаварійного захисту та індикації:


1) на панелі ППК в обов'язковому порядку інтегрована фіксована кнопка аварійної зупинки верстата (Emergency Stop), яка знеструмлює силові ланцюги приводів у разі виникнення позаштатних ситуацій;

2) передбачено світлосигнальну індикацію (або РК-дисплей) для моніторингу поточних координат осей, ампер навантаження на головний двигун та стану блокувальних пристроїв кінцевих вимикачів.

### **1.3 Описання режиму роботи верстату**

При досягненні номінального робочого тиску та витрати робочої рідини в магістралі змащення, гідравлічне реле контролю тиску (РКТ) замикає свій сухий блок-контакт.

Замикання ланцюга генерує дискретний сигнал логічної одиниці DI «Наявність тиску мастила головного електродвигуна», який надходить на вхідний модуль програмованого логічного контролера (ПЛК).



Одночасно через вихідне реле ПЛК (або паралельну лінію комутації) замикається ланцюг живлення зеленого світлосигналу на пульті оператора, що візуалізує готовність гідросистеми до пуску. Без формування цього дозволу програмне блокування ПЛК унеможливорює запуск головного приводу для запобігання сухому тертю та заклинюванню підшипникових вузлів.

Ініціалізація пускового циклу головного приводу.

Для пуску головного асинхронного або синхронного електродвигуна оператор задає вектор та режим роботи за допомогою селектора напрямку обертання (реверсивний перемикач фаз або завдання знаку частоти/полярності), після чого активує кнопку «Пуск».

Отримання ПЛК переднього фронту сигналу від кнопки «Пуск» є тригером для запуску автоматичного підциклу узгодження та перемикання механічних ступенів редуктора (коробки швидкостей) головного приводу.

Гідромеханічний алгоритм зміни ступенів швидкості.

Якщо поточне положення селектора вибору механічної швидкості не збігається з фактичним станом виконавчих механізмів (зафіксовано запит на новий ступінь), ПЛК реалізує таку релейно-гідролічну послідовність:

1) комутація гідроапаратури: активується проміжне реле керування, яке подає напругу на соленоїд направляючого гідророзподільника (золотника);

2) перерозподіл потоку: гідророзподільник змінює позицію, перекриваючи зливну магістраль загальної системи змащення та перенаправляючи весь об'ємний потік робочої рідини під тиском у робочі порожнини гідроциліндрів механізму перемикання (вилок пересування блоків шестерень);

3) кінематичне зачеплення: під дією гідроциліндрів здійснюється осьове переміщення зубчастих коліс для формування заданого передавального відношення.

Імпульсне прокручування (імпульс поштовху) при перемиканні.

Для виключення геометричного упору «зуб у зуб» під час зачеплення шестерень, одночасно з активацією гідрозолотника ПЛК замикає реле керування частотно-регульованим електроприводом (ЧП).

Цей алгоритм переводить ЧП у режим генерації зниженої (повзучої) частоти або формує короточасні кутові мікропереміщення валу двигуна (режим імпульсного поштовху). Повільне обертання кінематичного ланцюга забезпечує гарантоване та плавне входження зубів шестерень у зачеплення без динамічних ударів та пошкодження торців.

Після завершення позиціонування (що підтверджується кінцевими вимикачами положення шестерень) соленоїд гідророзподільника знеструмлюється, відновлюючи штатний контур змащення, а ЧП отримує дозвіл на розгін двигуна до номінальних робочих обертів.



Кінематика та компонування приводу верстата; конструктивні особливості приводу.

Приводна станція складається з механічної коробки передач та електродвигуна постійного струму (DC-двигуна), з'єднаних між собою пружною муфтою.

Специфікація монтажу: коробка передач інтегрована в задній частині верстата нижче рівня підлоги. Вона оснащена косозубими циліндричними шестернями зі шліфованим зубом, що забезпечують реалізацію двох перемикачаних ступенів обертання.

Коробка передач з'єднується з основним шестерневим вузлом за допомогою зубчастого вінця (муфти із зубчастим кільцем).

#### **1.4 Алгоритми керування головним електроприводом**

Безпечний пуск головного електроприводу (ГЕП) технологічної установки є умовним і залежить від стану допоміжних підсистем. Обов'язковою умовою є наявність номінального тиску в контурі примусового змащення кінематичних вузлів:

Формування сигналу готовності: при досягненні уставки номінального тиску в гідросистемі замикаються сухі контакти реле контролю тиску (РКТ);

Реєстрація та індикація: дискретний сигнал від РКТ надходить на модуль дискретних входів (DI) ПЛК. Програма ПЛК інтерпретує його як прапорець (флаг) готовності механічної частини до пуску. Одночасно ПЛК через модуль дискретних виходів (DO) активує ланцюг живлення світлодіодного індикатора «Тиск мастила в нормі» (зеленого кольору) на пульті оператора (HMI).

Модулі дискретних входів та виходів зображено у додатку А.

Зняття блокування: програмно-апаратне блокування пускових ланцюгів ГЕП знімається лише за наявності цього сигналу.

Ініціалізація пуску та верифікація стану трансмісії.


Запуск ГЕП виконується оператором з поста керування за допомогою органів ручного введення: кнопки «Пуск» та багатопозиційного перемикача напрямку/швидкості.

Після отримання команди на пуск АСУ ТП виконує опитування датчиків положення кінематичної схеми редуктора (коробки швидкостей) для верифікації поточного ступеня передачі:

1) сценарій А (Положення відповідне): якщо фактичний ступінь механічної передачі збігається із заданим (зафіксованим перемикачем), ПЛК видає дозвіл на прямий розгін електродвигуна до робочої частоти;

2) сценарій Б (Положення розбіжне): якщо оператор вибрав новий ступінь швидкості перед натисканням кнопки «Пуск», АСУ ТП блокує прямий старт двигуна і запускає підпрограму автоматичної зміни передавального відношення трансмісії.

Алгоритм електрогідравлічного перемикачання ступенів швидкості.



У разі розбіжності між уставкою (SP) та фактичним значенням (PV) ступеня швидкості, ПЛК реалізує комбінований електрогідравлічний алгоритм керування:

1) комутація гідророзподільника: ПЛК подає дискретний сигнал на котушку проміжного реле, яке замикає ланцюг живлення соленоїда електромагнітного гідророзподільника (гідрозолотника);

2) перенаправлення гідропотоку: гідророзподільник відсікає загальну зливну магістраль циркуляційної системи змащення, перенаправляючи потік робочої рідини під тиском у відповідні робочі порожнини гідроциліндрів перемикачів;

3) механічне зміщення: під дією гідравлічного зусилля штоки гідроциліндрів здійснюють осьове переміщення блоків шестерень для формування заданої геометричної схеми зачеплення трансмісії.

Для запобігання заклинюванню торців зубів та мінімізації динамічних ударних навантажень під час осьового зсуву коліс, реалізовано режим міжсистемної синхронізації:

1) на час перехідного процесу (перемикачів передачі) логіка ПЛК активує реле керування підсистемою електроприводу;

2) сигнал перемикає частотний перетворювач (ЧП) головного електродвигуна в режим генерації повзучої (імпульсної) швидкості - з мінімальною частотою обертання ротора;

3) повільне провертання вала двигуна забезпечує плавне вхід в зачеплення зубчастих пар;

4) після спрацьовування кінцевих вимикачів фіксації заданого ступеня передачі, ПЛК деактивує повзучу швидкість і переводить ЧП у штатний режим розгону ГЕП до робочої частоти.

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Основні переваги системи позиціонування

Інкрементний фотоелектричний перетворювач кутових переміщень (кутовий енкодер) моделі ЛІР-137, характеристики наведені в таблиці 2.1 та рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Датчик ЛІР-137

Технічні характеристики та конструктивні особливості:

- 1) принцип роботи: оптико-електронний (фотоелектричний) зчитувальний метод;
- 2) форм-фактор та габарити: малогабаритне виконання, зовнішній діаметр циліндричного корпусу становить 36,5 мм;
- 3) кінематичне сполучення: конструкція з суцільним (цілісним) вихідним валом;
- 4) дискретизація: роздільна здатність вихідного сигналу (інтерполяція) забезпечує до 720,000 імпульсів (дискрет) на один повний оберт валу 360 градусів;
- 5) параметри живлення: номінальна напруга живлення первинного кола становить постійні +5 В.

Таблиця 2.1 – Характеристика ЛІР-137

Параметр (Характеристика)	Технічні дані / Значення	Примітки / Інженерний коментар
Тип датчика	Фотоелектричний, інкрементний	Оптичний перетворювач кутових переміщень
Конструктивне виконання	З глухим порожнистим валом	Фіксація на валу двигуна/шпинделя за допомогою затискного кільця або гвинта
Діаметр порожнистого валу (d)	∅ 6, 8, 10, 12, 14, 15 мм	Залежить від модифікації (зазначається в замовленні)
Зовнішній діаметр корпусу	∅ 37 мм	Компактна серія для обмеженого простору
Число імпульсів на оберт (Z)	Від 100 до 2500 імп/об	Основні номінали: 100, 500, 1000, 1024, 2000, 2500
Дискретність (з інтерполяцією)	До 10 000 імп/об	При використанні зовнішнього інваріантного чотирикратного декодування
Типи вихідних сигналів	TTL / RS-422 (прямі та інверсні: A, A <sup>-</sup> , B, B <sup>-</sup> , Z, Z <sup>-</sup> )	Сумісний з більшістю сучасних ЧПУ (CNC) та ПЛК
Напруга живлення	+5В±5% або +10...+30В	Залежить від обраної схеми вихідного каскаду (ПІ, ПІ)
Максимальна частота опитування	До 300кГц	Обмежує максимальну швидкість при високій дискретності
Максимальна робоча швидкість	6000об/хв (короткочасно до 10000)	Обмежено механічними властивостями підшипників
Референтна мітка (Z-канал)	1 на оберт	Базовий нульовий імпульс для позиціонування
Клас точності (гранична похибка)	±40, ±60, ±80 кутових секунд	Визначається кроком штрихів на скляному диску

Продовження таблиці 2.1

Ступінь захисту за IEC 60529	IP64 (опціонально IP65 по валу)	Захист від пилу та бризок мастила/ЗОР
Діапазон робочих температур	-10°C...+70°C (опція від -40°C)	Промислове або розширене виконання
Тип підключення	Кабель у металорукаві або роз'єм (PC10)	Стандартна довжина кабелю - 1 м або за ТЗ
Максимальне осьове навантаження	10Н	Допустиме зусилля на вал при монтажі
Максимальне радіальне навантаження	20Н	Допустиме зусилля на вал при монтажі
Маса	Не більше 0.12кг	Без урахування ваги з'єднувального кабелю

У зв'язку з діючою корпоративною політикою ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГ» щодо повної заборони використання комплектуючих та електронних компонентів походженням з РФ, оригінальний первинний перетворювач був демонтований.

Для запобігання аварійним позаплановим простоям технологічного обладнання виконано модернізацію вузла шляхом інтеграції фотоелектричного інкрементного енкодера А36-F-36000-05V-АХХ DB-9 (виробництво: Литва). Загальна кількість ідентичних точок контролю на даній одиниці обладнання становить 3 одиниці.

Технічні характеристики та кінематика перетворювача А36:

1) функціональне призначення: прецизійної детекції величини кутового переміщення, кутової швидкості та напрямку обертання виконавчих органів обладнання;

2) дискретизація та роздільна здатність: Дана модифікація забезпечує роздільну здатність до 36 000 імпульсів/об, що еквівалентно дискретності понад 1 імпульс на кутову секунду. Це дозволяє застосовувати датчик у високоточних контурах позиціонування систем ЧПУ, коліматорах та вимірювальних приладах;

3) схема формування сигналів: перетворювач генерує дискретну послідовність імпульсів, де сумарна кількість імпульсів прямо пропорційна куту повороту вала, а частота їхнього слідування - поточній кутовій швидкості. Конструкцією передбачено два основні вихідні канали (квадратурні сигнали зі зсувом фаз на 90°), що забезпечує апаратне визначення напрямку обертання (реверсу);

4) експлуатаційна стійкість: прилад характеризується високою надійністю, вібро- та ударостійкістю, а також стабільністю роботи в умовах інтенсивних механічних та температурних навантажень промислового середовища.

Зовнішній вигляд датчика A36-F-36000-05V-AXX DB-9 зображено на рисунку 2.2. Підключення датчика A36-F-36000-05V-AXX DB-9 (матеріал постачальник ТОВ «ДНІПРОРЕСУРС») зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд датчика A36-F-36000-05V-AXX DB-9

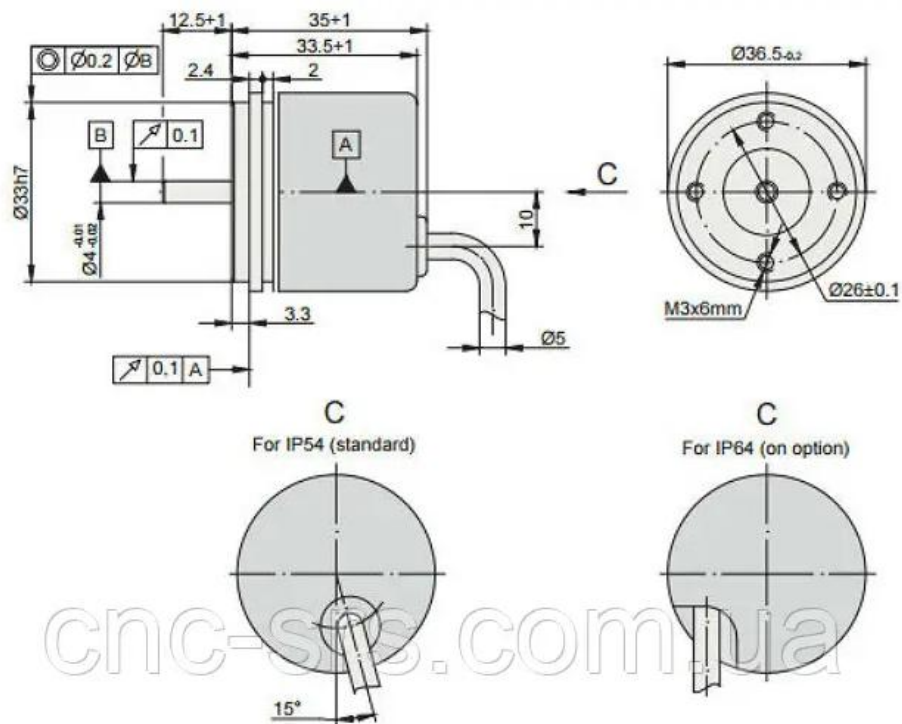


Рисунок 2.3 – Підключення датчика A36-F-36000-05V-AXX DB-9 (матеріал постачальник ТОВ «ДНІПРОРЕСУРС»)

Сфера застосування та критерії підбору.

Універсальна номенклатурна лінійка литовських кутових перетворювачів налічує понад 100 модифікацій із різними конструктивними параметрами (діаметр суцільного/порожнистого вала, типи вихідних каскадів, напруга живлення, інтерфейси підключення). Це дозволяє гнучко інтегрувати їх у будь-які автоматизовані системи керування (АСУ ТП).

Промислова експлуатація охоплює наступні напрямки:

- 1) металорізальне, деревообробне та ковальсько-пресове обладнання (зокрема, важкі верстати з ЧПУ);
- 2) електроприводи, сервомотори та генераторні установки;
- 3) робототехніка, підйомно-транспортні механізми, промислові ворота та автоматичні дверні системи;
- 4) гірничодобувна техніка, обладнання для переробки полімерів, пакувальні та поліграфічні машини;
- 5) альтернативна енергетика (системи орієнтації сонячних трекерів та вітрогенераторів).

Специфікацію датчика зазначено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація датчика

Характеристика	A36-A ~ 11 мкА	A36-AV ~ 1 В (пік-пік)	A36-F TTL; HTL
Напруга живлення	+5 В ± 5%	+5 В ± 5%	+5 В ± 5%; +(10 - 30) В
Макс. струм споживання (без навантаження)	80 мА	120 мА	120 мА
Джерело світла	LED (світлодіод)	LED (світлодіод)	LED (світлодіод)
Інкрементальні сигнали	Два синусоїдальні I1 та I2 . Амплітуда при навантаженні 1 кОм: I1 = 7-16 мкА; I2 = 7-16 мкА	Диференціальний синус +A/-A та +B/-B. Амплітуда при навантаженні 120 Ом: A = 0.6-1.2 В; B = 0.6-1.2 В	Диференціальні прямокутні U1/U1 та U2/U2. Рівні сигналу при струмі навантаження 20 мА: низький ≤ 0.5 В; високий ≥ 2.4 В (залежно від Uр )
Референсний сигнал	Один квазітрикутний I0 на оберт. Величини при 1 кОм: I0 = 2-8 мкА	Один квазітрикутний +R та його комплементарний -R на оберт. Величини при 120 Ом: R = 0.2-0.8 В	Один диференціальний прямокутний U0/U0 на оберт. Рівні аналогічні інкрементальним сигналам
Максимальна робоча частота	(-3 дБ) ≥ 160 кГц	(-3 дБ) ≥ 160 кГц	(160×k) кГц, де k — коефіцієнт інтерполяції
Напрямок сигналів	Струм 2 відстає від струму 1 при обертанні за годинниковою	+B відстає від +A при обертанні за годинниковою стрілкою	U2 відстає від U1 при обертанні за годинниковою стрілкою



	стрілкою		
Продовження таблиці 2.2			
Характеристика	A36-A ~ 11 мкА	A36-AV ~ 1 В (пік-пік)	A36-F TTL; HTL
Макс. час наростання та спаду	-	-	< 0.5 мкс
Стандартна довжина кабелю	1 м, без роз'єму	1 м, без роз'єму	1 м, без роз'єму
Максимальна довжина кабелю	5 м	25 м	25 м

Порівняння енкодера A36-F-36000-05V-AXX (виробництва Ditrion або аналогічних високоточних брендів) із серією ЛІР-137 (СКБ ІС) - це порівняння сучасного компактного рішення з класичним промисловим стандартом.

Головна перевага А36-Ф - це вбудована система інтерполяції:

1) А36-Ф-36000: має базову роздільну здатність 36 000 імпульсів/об. Завдяки квадратурній обробці (4 на контролері) ви отримуєте 144 000 кроків на один оберт;

2) ЛІР-137: типові моделі ЛІР-137 обмежені значно меншою кількістю штрихів на диску (зазвичай до 2500–5000 без складної зовнішньої інтерполяції);

3) інженерний висновок: А36-Ф дозволяє досягти значно вищої точності позиціонування на низьких швидкостях і стабільності підтримки швидкості (відсутність "тремтіння" вала).

Габарити та інерційність (Форм-фактор 36 мм):

1) компактність: серія А36 має зовнішній діаметр корпусу всього 36 мм. ЛІР-137 має більший корпус (37-40 мм) і часто важчий конструктив;

2) момент інерції: завдяки меншому діаметру вала та полегшеному скляному (або полімерному) диску, власна інерція А36-Ф мінімальна. Це критично для сервоприводів з високим динамічним відгуком, де важливо мінімізувати навантаження на підшипникові вузли;

3) диференціальні канали (RS422/TTL): наявність інверсних сигналів U1, U2, U0 дозволяє ефективно пригнічувати синфазні перешкоди. В ЛІР-137 старіших серій часто використовувалися лише прямі канали;

4) висока частота відгуку: А36-Ф підтримує робочу частоту до 160 кГц (де k - коефіцієнт інтерполяції). Це дозволяє працювати на високих обертах без ризику пропуску імпульсів;

5) струм споживання: оптимізована LED-система споживає близько 120 мА, що знижує теплове навантаження на внутрішню електроніку.

Стабільність референсної мітки (Z-канал):

1) в А36-F референсний сигнал є диференціальним прямокутним  $U_0/U_0$ , що жорстко прив'язаний до фаз А і В. Це гарантує повторюваність виходу в "нуль" з точністю до одного імпульсу;

2) в ЛІР-137 налаштування нульової мітки часто потребує точнішого механічного юстування через ширший допуск сигналу.

Порівняння датчиків приведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння датчиків

Параметр	А36-F-36000-05V	ЛІР-137 (Типовий)	Перевага А36
Роздільна здатність	36 000 імп/об	1 000 - 5 000 імп/об	У 7-10 разів вища
Час наростання сигналу	< 0.5 мкс	~ 1 мкс	Швидша реакція
Діаметр корпусу	36 мм	37+ мм	Більша компактність
Захист сигналу	Повний диференціальний	Залежить від виконання	Вища завадостійкість
Робоча температура	до 60°C (стабільно)	часто обмежена 45-50°C	Термічна стабільність

## 2.2 ПЦІ для відображення позиціонування

Призначення та функціональні можливості ПЦІ.

Пристрій цифрової індикації (ПЦІ) призначений для приймання та обробки квадратурних (електричних) сигналів, що надходять від фотоелектричних (оптоелектронних) перетворювачів лінійних або кутових переміщень. ПЦІ забезпечує візуалізацію поточних координат на цифровому табло в режимі реального часу, а також формування дискретних команд для керування виконавчими механізмами технологічного обладнання.

Даний клас пристроїв інтегрується як спеціалізований комплектувальний виріб до складу інформаційно-вимірювальних систем, металорізальних верстатів (токарної, фрезерної, свердлильно-розточувальної груп) та іншого промислового обладнання для точного контролю механічних переміщень робочих органів.

Проведені роботи з модернізації.

В рамках виконання робіт з модернізації системи вимірювання було проведено демонтаж застарілого пристрою ЛІР-532 та встановлено сучасний універсальний пристрій цифрової індикації Ditron D60-3.

Дана модель є оптимальним інженерним рішенням для застосування на токарних, фрезерних та координатно-розточувальних верстатах завдяки високій надійності та розширеному функціоналу обробки даних.

Зовнішній вигляд ПЦІ Ditron D60-3 представлено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд ПЦІ Ditron D60-3

Ditron D60-3 (зазвичай маркується як D60-3V або D60-3M/L/E залежно від прошивки) - це універсальний пристрій цифрової індикації (ЦІ) для 3-осьового контролю переміщень на металообробних верстатах.

Технічні параметри:

- 1) кількість осей: 3;
- 2) напруга живлення: АС 80 В – 260 В, 50/60 Гц;
- 3) споживана потужність: 15 Вт (в деяких специфікаціях вказано 5–14 ВА);
- 4) вхідний сигнал: TTL або RS422, напруга 5 В;
- 5) максимальна частота вхідного сигналу:  $\leq 4$  МГц (або  $< 5$  МГц залежно від версії);

6) роздільна здатність (налаштовувана): від 0.1 мкм до 50 мкм (зокрема 1, 2, 5, 10 мкм);

7) дисплей: 8-розрядний світлодіодний (LED);

8) клавіатура: Механічна з пило- та вологозахистом;

9) робоча температура: від -10°C до 60°C.

Основні функції.

1) базові:

– обнулення координат, відновлення даних, перемикач мм/дюйм, режим ABS/INC (абсолютні/відносні координати), пам'ять при вимкненні живлення.

2) спеціальні (залежно від обраного режиму верстата):

—) для фрезерних верстатів (3M):

– свердління отворів по колу (PCD) та по косій лінії (PLD), обробка по радіусу (Smooth R/Simple R), обробка пазів.

—) для токарних верстатів (3L):

– режим радіус/діаметр, конусна обробка, пам'ять на 200 інструментів.

—) для електроерозійних верстатів (3E):

– Функція керування виходом (реле).

Компенсація похибок.

Підтримка лінійної та нелінійної компенсації похибки оптичних лінійок.

Основні функції:

1) пам'ять на 200 точок нульового положення;

2) функція середнього поділу "Мм/дюйм";

3) перемикач радіуса/діаметра;

4) сегментована компенсація помилок;

5) компенсація лінійної помилки;

6) пам'ять переривання живлення;

7) перемикач сну;

8) арифметична функція;

9) RS-232-C інтерфейс (опція).

Функції обробки:

1) PCD розподіл окружності;

2) функція обробки камери Involute (підходить для фрезерного верстата);

3) конічна обробка/кутова обробка поверхні (підходить для фрезерного верстата);

4) функція N3 (підходить для фрезерного верстата);

5) діагональна розточка (підходить для фрезерного верстата);

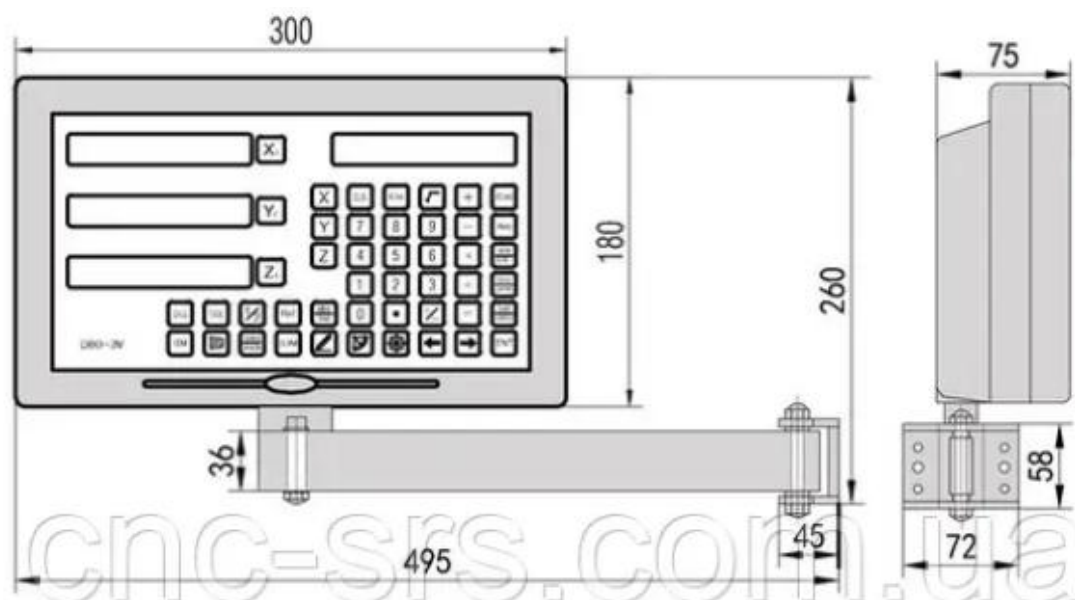
6) функція R-arc (підходить для фрезерного верстата);

7) конічна вимірювальна функція (підходить для токарного верстата);

8) бібліотека на 200 інструментів (підходить для токарного верстата);

9) функція захисту від розмивання (підходить для шліфувального верстата).

Габаритні розміри та підключення D9 ПЦІ Ditron D60-3 (матеріал постачальник ТОВ «ДНІПРОРЕСУРС») зображено на рисунку 2.5.



Габаритне креслення

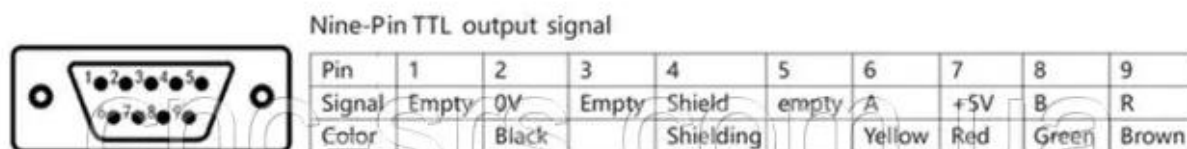


Рисунок 2.5 – Габаритні розміри та підключення D9 ПЦІ Ditron D60-3 (матеріал постачальник ТОВ «ДНІПРОРЕСУРС»)

### 2.3 Електропривод подачі

У приводах подач застосовано асинхронні електродвигуни.

Вибір робочого або прискореного діапазону подач, що забезпечується механічним перебором у коробці подач (коробці швидкостей), здійснюється за допомогою електромагнітних муфт.

Для запобігання самовільному опусканню (падінню) шпindelьної бабки під час зупинки верстата, на кінцях повзунів установлені пружинні електромагнітні гальма.

Цей вимикач є сервісним і призначений виключно для технічного обслуговування верстата, забезпечення ручного переміщення повзуна під час ремонтних робіт або в разі аварійного вимкнення. Перемикач з хвилинної подачі на подачу на оберт (ротаційну) виконується синхронно

з вибором постійної швидкості різання за допомогою відповідного перемикача [2].

## 2.4 Математичне моделювання електродвигуна шпіндельної бабки

Виконаємо первинні розрахунки кутових швидкостей та конструктивних коефіцієнтів. Вихідні дані електродвигуна приводу шпіндельної бабки MDFGA132-32,36 відображено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Вихідні дані електродвигуна приводу шпіндельної бабки MDFGA132-32,36

Найменування параметра	Значення
Номінальна потужність	$P_H = 31.1$ кВт
Номінальна лінійна напруга	$U_H = 380$ В
Частота сеті живлення	$f_1 = 50$ Гц
Номінальна кутова швидкість обертання валу	$\omega_H = 230$ хв <sup>-1</sup>
Число пар полюсів	$p = 4$
Крутящий момент	288 Нм
Мінімальні оберти двигуна	1030 об/хв
Номінальний струм статора	$I_H = 77.4$ А
Максимальні оберти двигуна	4500 об/хв

Асинхронні серводвигуни такого типу при роботі з частотними інверторами мають дві чітко розмежовані зони роботи, які критично враховувати при моделюванні електроприводу: магнітний потік утримується на номінальному рівні завдяки базовому закону частотного керування  $U/f = \text{const}$ .

Для симуляції динамічних процесів (пуск, накид навантаження, реверс) використовується класична система диференціальних рівнянь Парка-Горєва в синхронній системі координат (d, q), яка обертається з кутовою частотою поля  $\omega$ . Це дозволяє розділити керування моментом (q-вісь) та магнітним потоком (d-вісь). Структурна схема математичної моделі електродвигуна головного приводу верстата показана на рисунку 2.6 [3].

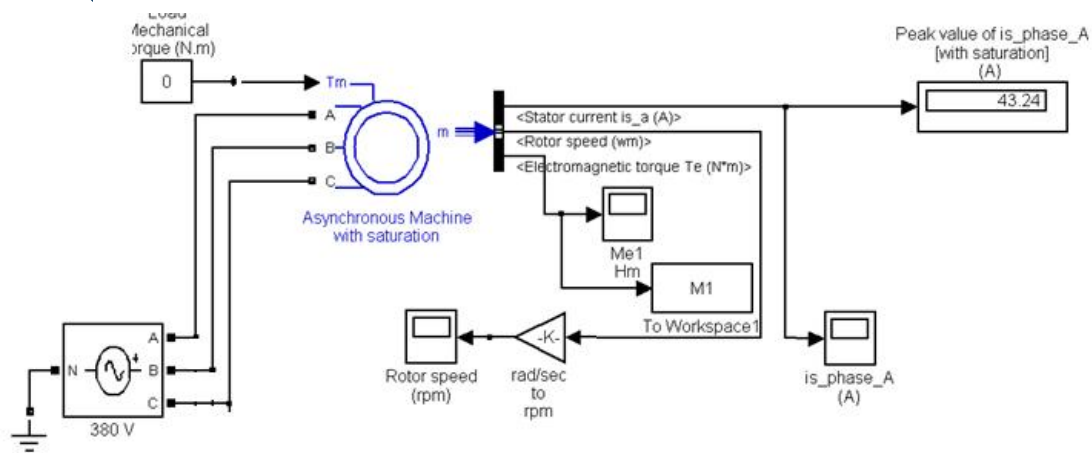


Рисунок 2.6 – Схема структурна математичної моделі електродвигуна головного приводу верстата

## 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 3.1 Вибір вимірювальних перетворювачів швидкості

Внаслідок тривалої експлуатації технологічного обладнання первинні перетворювачі (датчики) привода головного руху зазнали значного фізичного та морального зносу, що зумовило їхню невідповідність сучасним технічним вимогам щодо точності та надійності позиціонування. У зв'язку з цим виникає необхідність модернізації вимірювального контуру верстата шляхом заміни застарілих компонентів на прогресивні аналоги з вищими метрологічними характеристиками.

Абсолютні датчики, навпаки, реєструють рухи при відключенні живлення і видають фактичну позицію при відновленні живлення, не вимагають реферування.

У сучасній інженерній практиці для контролю кутових і лінійних переміщень робочих органів застосовують інкрементальний та абсолютний методи вимірювання. Використання інкрементальних датчиків пов'язане з потребою обов'язкового проведення процедури реферування (виходу в нульову точку) після кожного відновлення живлення. Це зумовлено тим, що за відсутності енергозабезпечення поточні координати не зберігаються в пам'яті системи числового програмного керування (СЧПК), а механічні зміщення механізмів у знеструмленому стані не реєструються. Натомість абсолютні (кодові) датчики здійснюють безперервну реєстрацію положення незалежно від наявності зовнішнього живлення.

Завдяки цьому під час завантаження системи відразу визначається актуальне значення фактичної позиції, що повністю виключає потребу в попередньому базовому позиціонуванні та підвищує продуктивність обладнання. Датчики абсолютного значення (кодові датчики положення).

Для інтеграції в електродвигуни привода головного руху використовують різні класи вимірювальних пристроїв, які поділяють за принципом дії та типом вихідного інтерфейсу. Серед інкрементальних кругових датчиків виділяють пристрої визначення положення та швидкості шпинделя з цифровими імпульсними сигналами типів TTL та HTL (High Voltage), а також датчики кута повороту з аналоговими диференційними сигналами типу  $\sin/\cos$  з амплітудою напруги  $1 V_{pp}$  (напруга від піку до піку). Окремим високотехнологічним рішенням є безкорпусні магнітні інкрементальні системи типу SIMAG H, призначені для реєстрації кута повороту порожнистих шпинделів у двигунах серій 1PH2 та 1FE1.

Ця система, що є сучасною альтернативою застарілій версії SIZAG 2, конструктивно складається з прецизійної мішені у вигляді шестерні та магнітозчитувальної головки [7].

Клас абсолютних датчиків представлений цифровими кодовими перетворювачами положення, які класифікуються за типом комунікаційного протоколу взаємодії з системою керування. До цієї групи належать пристрої із синхронним послідовним інтерфейсом (SSI), високошвидкісні енкодери з інтерфейсом передачі даних EnDat, а також датчики, що інтегруються у промислову мережу за стандартом PROFIBUS-DP.

Загалом, як інкрементальні, так і кодові датчики за своєю функціональною суттю належать до класу енкодерів, оскільки їхнє основне завдання полягає у генерації інформаційних імпульсів, які характеризують динаміку та кінематику руху. У структурі інкрементальних перетворювачів передбачено наявність синусного (A) і косинусного (B) каналів, а також каналу R, призначеного для формування референтної мітки початку оберту вала. Порядок чергування сигналів у каналах A та B дає змогу однозначно визначити напрямок обертання привода. Обчислення загальної кількості імпульсів за допомогою лічильників СЧПК дозволяє розрахувати величину лінійного або кутового переміщення, а визначення частоти надходження цих імпульсів за одиницю часу слугує основою для розрахунку поточної швидкості обертання. Графічна інтерпретація, а також часові діаграми цифрових сигналів TTL та аналогових сигналів sin/cos з рівнем напруги  $1 V_{pp}$  детально представлені на рисунках 15 та 16 відповідно.

Діаграми сигналів TTL інкрементального датчика відображені на рисунку 3.1. Діаграми сигналів sin / cos рівня напруги  $1 V_{pp}$  інкрементального датчика показані на рисунку 3.2 [6].

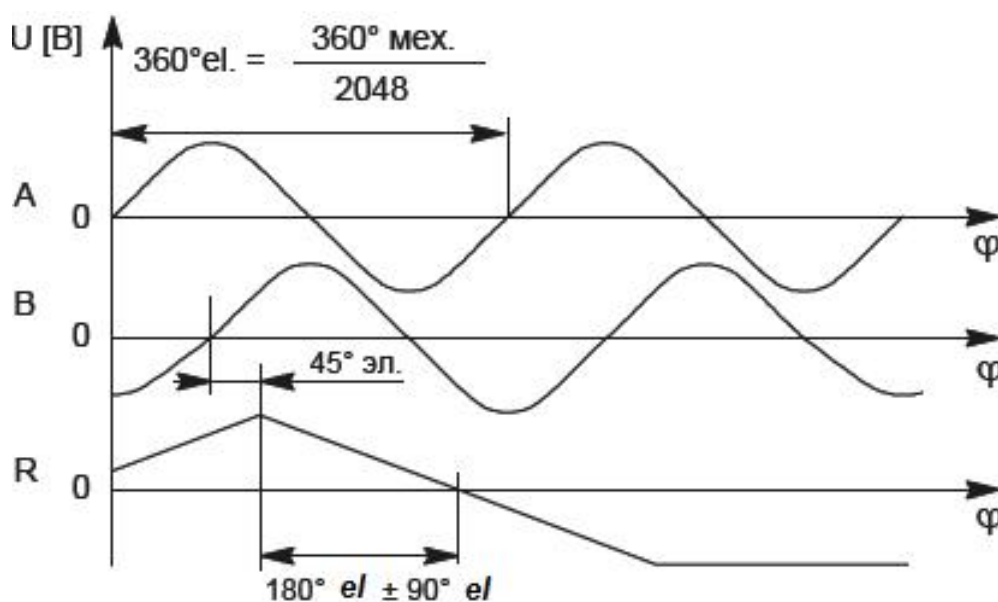


Рисунок 3.1 – Діаграми сигналів TTL інкрементального датчика

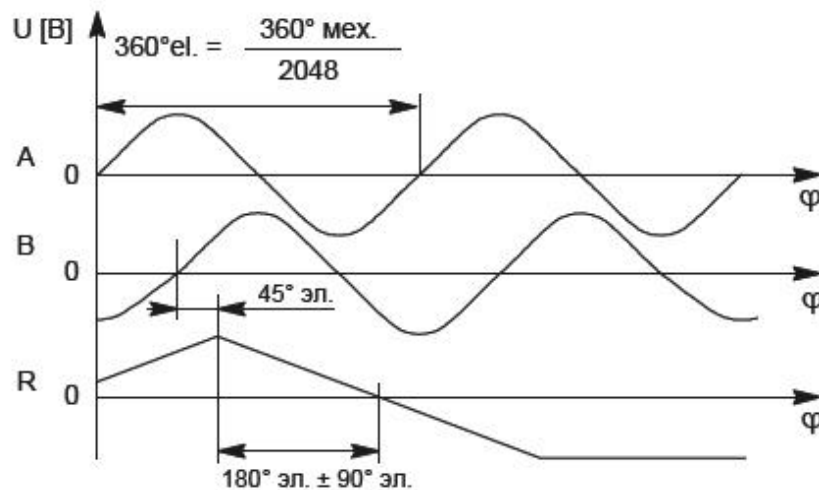


Рисунок 3.2 – Діаграми сигналів sin / cos рівня напруги 1 Vpp інкрементального датчика

На рисунку 3.3 показаний варіант управління приводом головного руху з застосуванням інкрементального датчика.



Цифрове керування приводом подачі з прямою реєстрацією положення

Рисунок 3.3 – Цифрове керування приводом подачі з прямою реєстрацією положення

У зв'язку з тим, що гранична похибка датчика становить  $\pm 0,006$  град, кількість імпульсів (кроків) на один оборот валу може бути пропорційно збільшена.

Розрахунок максимальної кількості кроків здійснюється за формулою:

$$M = 4k \quad Z, \quad (3.1)$$

де  $k$  – встановлюваний в приводі коефіцієнт множення (0,5, 1, 2, 4),  
 $Z$  – число штрихів на диску датчика.

Так, для  $Z = 2048$  штрихів на один оборот отримаємо:

$$M = 4 \cdot 2048 = 32768 \text{ штрихів/об.}$$

Розділивши  $360^\circ$  на отримане число кроків, отримаємо ціну одного кроку, тобто похибка вимірювання кута повороту:

$$G_{\text{розр}} = \frac{360}{32768} = 0,011 \text{ град.}$$

Отримане значення відповідає вимогам до вибору вимірювальних пристроїв. Згідно з ними, допустима похибка приладу (у цьому випадку  $0,006^\circ$ ) має бути щонайменше вдвічі меншою за задану похибку вимірювання, яка дорівнює кроку дискретності вимірювальної системи ( $0,011^\circ$ ).

У кодових датчиках інформація про кутове (або лінійне) положення формується за допомогою  $N$  доріжок, кожна з яких відображає 1 біт даних (див. рисунок 3.4).

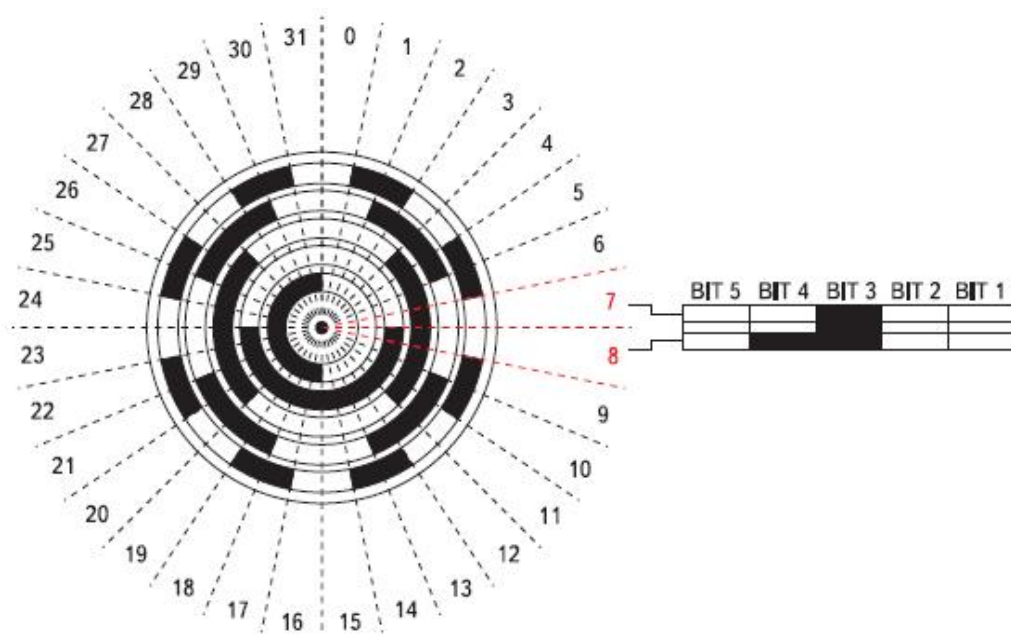


Рисунок 3.4 – Принцип створення коду положення в абсолютному датчику

Дозвіл  $N$  залежить від конструкції датчика. Однооборотні датчики послідовного інтерфейсу SSI мають дозвіл 12 біт (4096 дискрет на оборот), а багатооборотні - 24 біта (4096 дискрет  $\times$  4096 оборотів). Такий же дозвіл мають датчики з інтерфейсом PROFIBUS-DP. У датчиків з кодером інтерфейсу за даними (EnDat) дозвіл на 1 оборот в 2 рази більше - 8192 дискрет, кількість обертів - 4096.

Непряма реєстрація положення і швидкості переміщення робочого органу при цифровому управлінні приводами головних рухів здійснюється принципово однаково (рис. 3.5) [4].

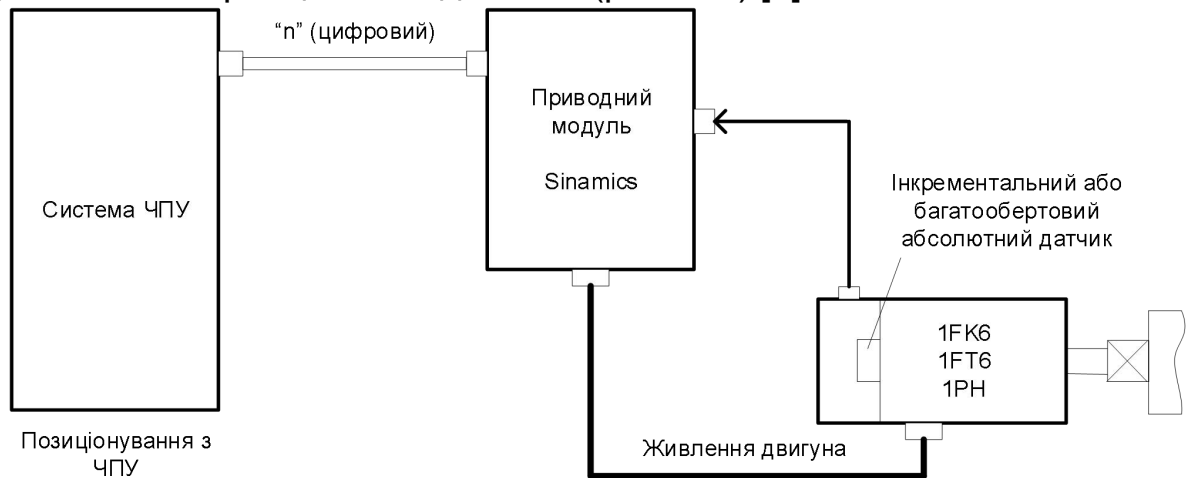


Рисунок 3.5 – Непряма реєстрація положення і швидкості з цифровим інтерфейсом

Датчик визначає швидкість двигуна, яка задається перетворювачем частоти. Час комутації складає 3,3 мс. Для стійкості системи регулювання швидкості період дискретності повинен бути  $T_0=4$  мс.

Визначимо діапазон регулювання швидкості:

$$D_C = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot T_0}{d} = \frac{151 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,001} = 604, \quad (3.2)$$

де  $d$  – ціна дискретності,  $d=0,001$ ;  $\omega$  – номінальна кутова швидкість електродвигуна.

Максимальна роздільна здатність датчика:

$$N_D \geq \frac{2\pi \cdot D_C}{T_0 \cdot \omega_{\text{дв}}} = \frac{2\pi \cdot 604}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 151} \approx 6300 \frac{\text{дискрет}}{\text{об}}, \quad (3.3)$$

Слід врахувати, що інкрементальні і кодові датчики є оптикоелектричними приладами і живляться напругою постійного струму.

Вибір датчика контролю кута повороту ротора відображено на рисунку 3.6.

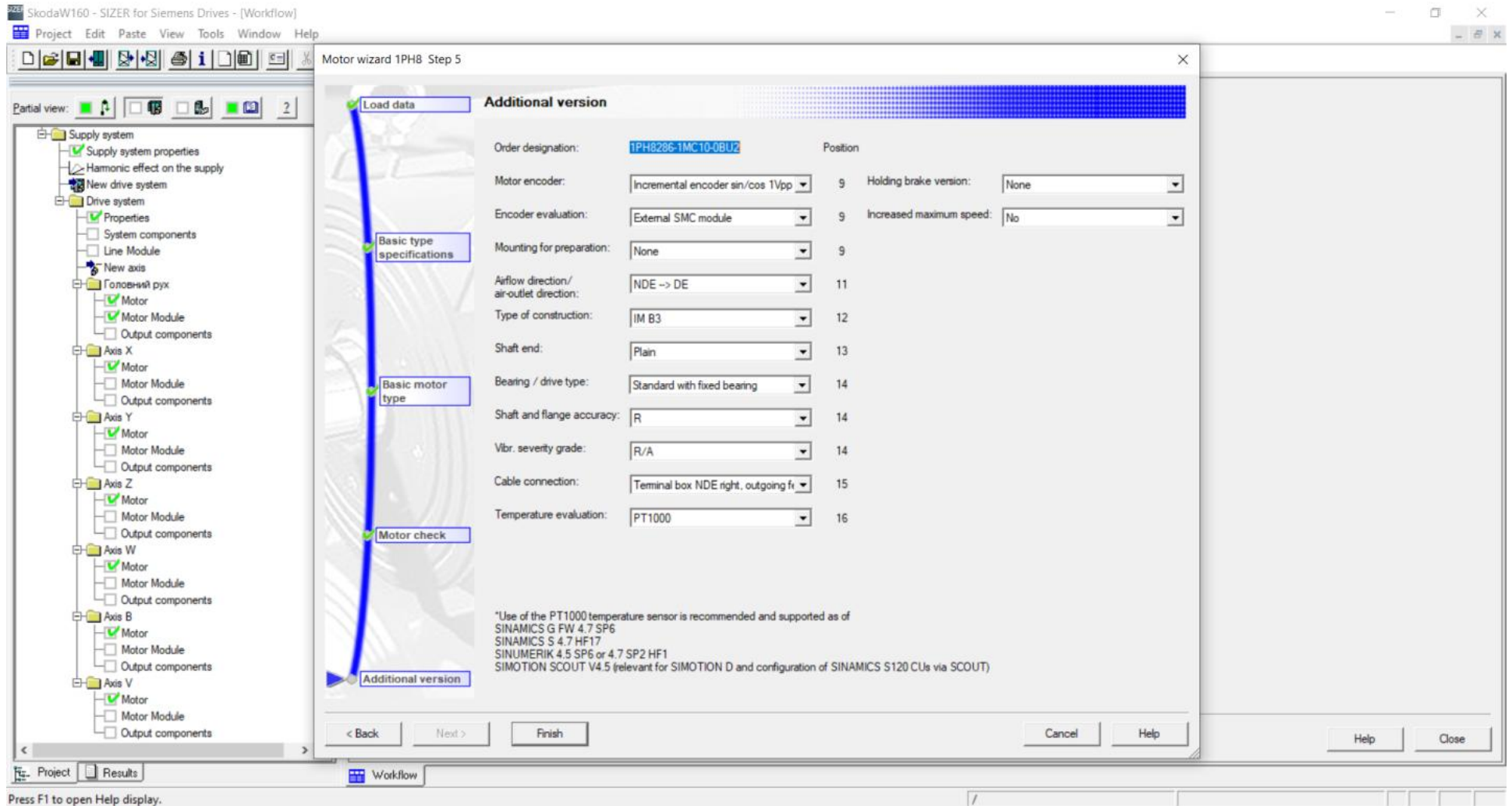


Рисунок 3.6 – Вибір датчика контролю кута повороту ротора

Конфігурація датчика зворотного зв'язку: використано інкрементальний енкодер із додатковими синусно-косинусними доріжками C та D (тип: Incremental encoder sin/cos 1 Vpp 2048 S/R with C, D track).

Налаштування обробки сигналів: у параметрі Encoder evaluation задано використання зовнішнього сенсорного модуля SMC. Модуль забезпечує перетворення аналогових сигналів 1 Vpp (sin/cos) в інтерфейс DRIVE-CLiQ.

Охолодження двигуна: у полі Air flow direction встановлено напрямок DE \rightarrow NDE. Потік повітря спрямовано від приводного кінця вала (DE) до протилежного (NDE) для забезпечення відведення теплових втрат двигуна в сторону від робочої зони верстата. Читання кадрів та пульта керування відображено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Читання кадрів та пульта керування

RD_KADR	Читання кадру управляючої програми з масиву, що сформований процедурою TRANS. Аналіз кадру: визначення виду інтерполяції, робочого квадранта, величин переміщення й швидкостей по координатах. Визначення технологічних функцій
GO_KADR	Відпрацьовування кадру управляючої програми. Прийом й обчислення швидкості і положення та їхнє цифрове регулювання. Інтерполяційні розрахунки.
INITHAND	Підготовка системи до роботи в ручному режимі
RD_PULT	Читання пульта оператора. Завдання із клавіатури величин швидкості й переміщення по координатах, вибір виду інтерполяції. Завдання стану електроавтоматики верстата
TSTSTAT	Читання стану електроавтоматики верстата: стану кінцевих вимикачів, контактів реле захистів і силових контакторів.
ANALYSE	Аналіз аварійної ситуації, визначення можливості продовження роботи верстата.
FORMUP R	Формування кодів управління: коду завдання швидкості переміщення по координаті, коду управління електроавтоматикою.
WRUPR	Запис управляючих кодів у відповідні реєстри системи. Відпрацьовування завданого переміщення по відповідних координатах.

### 3.2 Конфігурація приводної частини подач (X, Y, W)

Переходимо до проектування приводів X, Y, W. Для цього в списку Axis вибираємо вісь X, далі Y та W. У результаті з'являються два списки – Ambient conditions (Умови навколишнього середовища) і Motor (Двигун), як показано на рисунку 3.7.

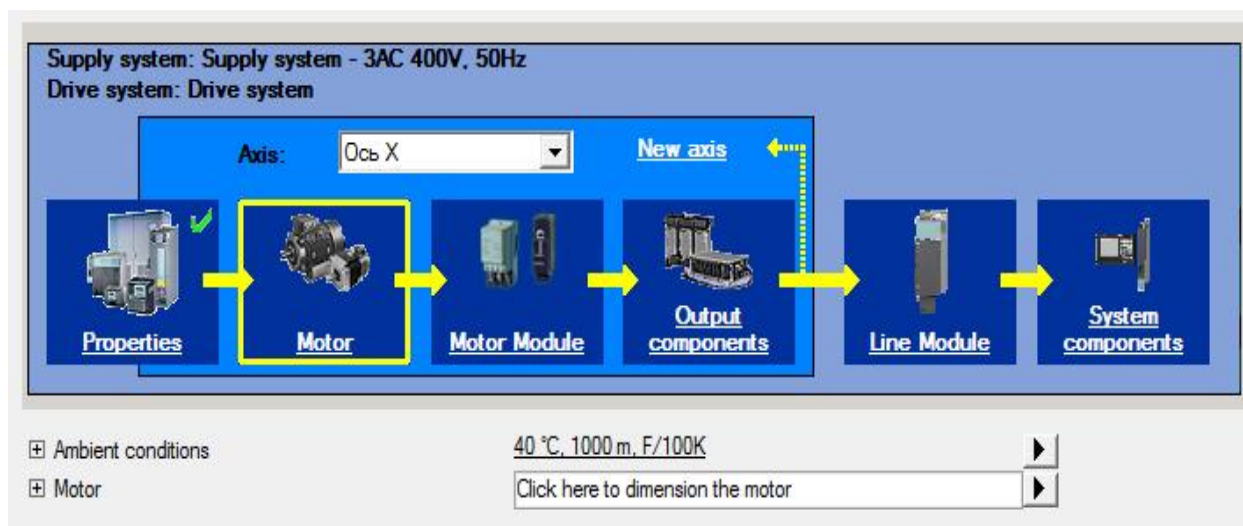


Рисунок 3.7 – Вікно вибору приводного електродвигуна супорту

У рядку Motor додержуємося вказівки Click here to dimension the motor відкривається вікно Motor wizard 1FT/1FK Step 1,

Для приводної системи застосовуємо двигун 1FT6 із прибудованим планетарним редуктором типу SP+.

У вікні Motor check представлені результати розрахунків робочих характеристик на номінальній швидкості обраного двигуна у розділі 2 електродвигуна 1LE1503-3BB63-4A44. Вони свідчать про те, що в обраного двигуна крутний момент на номінальній швидкості перевищує задане значення, а значить задовольняє вимогам.

Переходимо до останнього кроку Basic data 2.

Тип конструкції визначається розташуванням вала. Ухвалюємо горизонтальне розташування й у позиції 12 устанавлюємо IM B5. Далі приймаємо вказаний напрямок виходу силового кабелю в позиції 13. У позиції 14 для обраного двигуна 1LE1503-3BB63-4A44 вибираємо інкрементальний енкодер з доріжками C і D без інтерфейсу DRIVE-CLIQ.

Проведемо вибір моторного модуля Motor Module, а потім на рядку Motor Module, яке показано на рисунку 3.8, виведений список модулів, які задовольняють вимогам по навантаженню, при цьому перший модуль у списку підфарбований сірим кольором, як найбільш підходящий.

**Select Motor Module**

Required continuous current: 103,63 A ≤ available current

Pulse frequency: [ ] kHz

Number connected in parallel: [ 1 ]

Check of the varying load capability at low output frequencies (only for Chassis Modules)

Only display selectable components

Order designation	Type	Version	Rated current	Peak current	Available current	Available peak current	Pulse frequency
✓ 6SL3120-1TE31-3AA3	Single	Booksize	1 * 132,00 A	210,00 A	132,00 A	132,00 A	4,00 kHz
✓ 6SL3120-1TE32-0AA4	Single	Booksize	1 * 200,00 A	282,00 A	200,00 A	200,00 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE32-1AA3	Single	Chassis	1 * 210,00 A	307,00 A	172,20 A	172,20 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE32-6AA3	Single	Chassis	1 * 260,00 A	375,00 A	215,80 A	215,80 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE33-1AA3	Single	Chassis	1 * 310,00 A	453,00 A	272,80 A	272,80 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE33-8AA3	Single	Chassis	1 * 380,00 A	555,00 A	330,60 A	330,60 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE35-0AA3	Single	Chassis	1 * 490,00 A	715,00 A	382,20 A	382,20 A	4,00 kHz
✓ 6SL3320-1TE36-1AA3	Single	Chassis	1 * 605,00 A	885,00 A	392,04 A	392,04 A	4,00 kHz

Рисунок 3.8 - Список модулів двигунів, які задовольняють вимогам по навантаженню

Виділяємо цей модуль і закриваємо вікно кнопкою ОК. На іконці Motor Module повинна з'явитися зелена галочка.

Переходимо до наступного етапу Output components.. У вікні Output options на робочім полі стають доступними два нові списки – Supply cable (Кабель живлення) і Encoder evaluation (Визначення енкодера).

У вікні Encoder evaluation, фрагмент якого показано на рисунку 3.9. У цьому вікні відображаються дані про енкодер, вбудований у двигун. Нижче у вікні розташований інтерфейс для вибору й конфігурування додаткових (зовнішніх) енкодерів.


1st external encoder

1st external encoder	Encoder type	Evaluation	Cable type	Length [m]
Encoder evaluation only	Encoder for evaluation with SMC 30		No cable type	

Рисунок 3.9 – Вікно налаштування параметрів енкодера

### 3.3 Конфігурація модуля живлення

Функціональна схема підключення активного модуля живлення стосовно до проектованого електроприводу верстата приведена на рисунку А.5 Додатку А.



Через активний модуль живлення один або кілька модулів двигунів підключаються до мережі енергопостачання. Активний модуль живлення виробляє постійну напругу проміжного контуру для модулів двигунів. При цьому коливання напруги мережі не відображаються на напрузі проміжного контуру.

Підтримка рекуперації активного модуля живлення може бути деактивовано через параметри. Активний модуль живлення підходить для прямої експлуатації як на мережах TN, так і на мережах IT і TT. Активний модуль живлення в генераторному режимі двигунів здійснює рекуперацію енергії в мережу.

При конфігуруванні модуля живлення виконуються розрахунки необхідної потужності для лінійного модуля шляхом розрахунків загальної потужності (коефіцієнт збігу для всієї групи осей) або за допомогою рейтингу класу потужності (коефіцієнт збігу для кожного класу потужності).

### **3.4 Конфігурація процесора Lenze з приводною системою**

Вибір системних компонентів. Відкриваємо вікно Input options, у якому, як опція включене застосування активного модуля живлення. Закриваємо вікно, при цьому стає доступним новий список – Add accessories.

Застосовуємо систем керування LENZE.

У вікні Open-loop/closed-loop control electronics вибираємо тип системи LENZE with Win10 для панелі оператора, а також програмне забезпечення панелі оператора – Operate.

При конфігурування, зазначаємо підключення по мережі Ethernet панелі оператора, клавіатури та верстатного пульта, дивимось на рисунок 3.10.

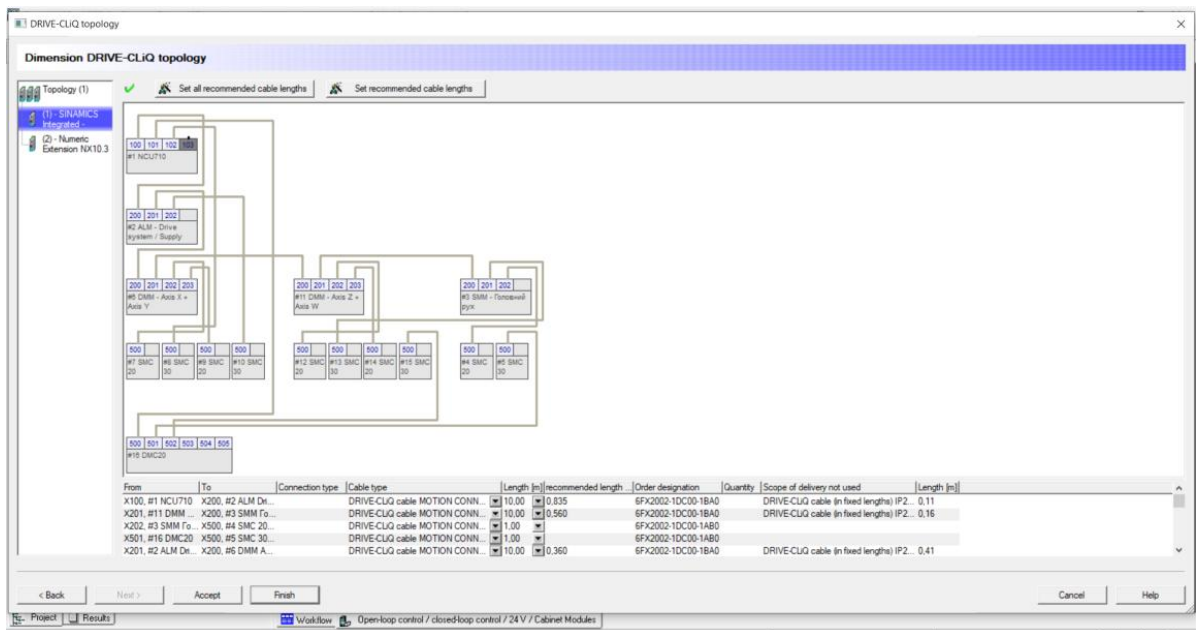


Рисунок 3.10 - Топологічна схема з'єднання з модулями приводної системи

Програмне управління верстатом є типовим завданням управління в реальному масштабі часу. Це вимагає вірного сполучення апаратних і програмних ресурсів системи із зовнішніми пристроями. У загальному випадку управління устаткуванням зводиться до обміну інформацією між управляючою ЕОМ і зовнішніми пристроями, що входять у його склад.

Специфіка програмування апаратури й, зокрема, розроблювальної системи управління полягає в підвищених вимогах до швидкодії програмного забезпечення й у необхідності одержання програми мінімального розміру. Для цього доводиться використати спеціальні методи й алгоритми.

#### 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Модернізація важкого горизонтально-розточувального верстата моделі ИС2А636Ф1 передбачає комплексну рекуперацію та автоматизацію систем керування приводами подач по виділених координатах: шпindelної бабки (Y), столу (X, B) та шпindelної пінолі (Z, W). Оскільки дане обладнання інтегроване в основний виробничий цикл підприємства, оптимізація його динамічних характеристик безпосередньо впливає на загальну пропускну здатність технологічної лінії.

Оновлення архітектури системи керування (перехід від застарілих релейно-контактних схем та дискретних приводів до сучасних систем ЧПК/УЦВ та цифрових сервоприводів) дозволяє:

- мінімізувати експлуатаційні витрати та витрати на планово-попереджувальні ремонти (ППР);
- підвищити коефіцієнт технічного використання (КТВ) обладнання;
- максимізувати корисний річний фонд робочого часу за рахунок скорочення часу на технічне обслуговування.

Технічні переваги та автоматизація

Впровадження прогресивної системи керування з використанням сучасних засобів автоматизації (високоточних оптичних або магнітних лінійок зворотного зв'язку, серводвигунів із абсолютними енодерами) забезпечує дискретність позиціонування та точність обробки деталей до 0,001 мм.

За рахунок підвищення швидкостей швидких переміщень (холостих ходів) та оптимізації режимів різання суттєво скорочується штучно-калькуляційний час (t) на виконання технологічних операцій. Це дозволяє досягти таких результатів:

- 1) Інтенсифікація виробництва: збільшення продуктивності праці та пропускну спроможності робочого місця;
- 2) надійність: виключення ризиків позапланових простоїв через аварійні відмови застарілої електронної компонентної бази;
- 3) якість: зведення до мінімуму ймовірності виникнення технологічного браку (внаслідок люфтів або похибок позиціонування).

На відміну від базового варіанту утилізованої системи керування, яка морально та фізично застаріла, характеризується низькою швидкодією та накопиченою похибкою позиціонування, нове технічне рішення базується на сучасній мікропроцесорній техніці з високим рівнем завадостійкості.

Розрахунок техніко-економічної ефективності

У даному розділі наведено порівняльний аналіз технічних та економічних переваг впроваджуваного комплексу засобів автоматизації відносно базового аналога.

На основі отриманих диференційованих показників виконано розрахунок річного економічного ефекту, терміну окупності капіталовкладень (Т) та загальної техніко-економічної ефективності модернізації.

Вихідні дані для проведення інженерно-економічних розрахунків модернізованого горизонтально-розточувального верстата зведені та представлені нижче у таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Початкові дані для розрахунку економічної ефективності верстата

Найменування даних, позначення, розмірність		Базовий варіант	Новий варіант
Призначення устаткування		Основне	
Вид продукції		Стінка	
За одиницю продукції прийнято		Тона деталі	
Показники	Позначення	До модернізації	Після модернізації
Виробнича тон/рік	<i>A</i>	772	1007
Тривалість роботи устаткування на рік, доба	<i>T<sub>доба</sub></i>	365	365
Кількість змін в добі	<i>n<sub>зм</sub></i>	2	2
Тривалість робочої зміни, год	<i>t<sub>зм</sub></i>	11,5	11,5
Показники	Позначення	До модернізації	Після модернізації
Електр. потужність, кВт/ч	<i>N<sub>э</sub></i>	63	63
Вартість 1 кВт	<i>Ц<sub>э</sub></i>	4,32	4,32
Норма амортизації, %	<i>N<sub>A</sub></i>	15	15
Норма відрахувань на ремонт, %	<i>N<sub>P</sub></i>	3	3
Норма обслуговування, чол. за зміну	<i>НОБС</i>	2	2
Годинна тарифна ставка, грн.	<i>ЧТС</i>	89	89
Додаткова зарплатня, грн.	<i>%Дз</i>	47	47
Нарахування на зарплату до соціальних фондів, %	<i>%Осф</i>	22	22
Ціна продукції 1 тонна грн	<i>Ц<sub>п</sub></i>	148000	148000

Вартість капіталовкладень до основних виробничих фондів підприємства, де буде встановлена машина. Основні виробничі фонди беруть участь у виробничому процесі тривалий час (не меншого року), зберігаючи при цьому свою натуральну форму, а їх вартість переноситься на вартість продукції, що виготовляється, поступово, по частинах, у міру зносу.

Загальна орієнтовна вартість капіталовкладень (або реальних інвестицій, або, простіше кажучи, грошових коштів) до основних виробничих фондів (ОПФ) в балансових цінах (т.е. у цінах, по які вони числяться на балансі підприємства, на першому році експлуатації) підприємства, яке придбає і встановить у себе машину  $K_{ОБЩ}$ , грн., визначається по формулах:

$$K_{ОБЩ}^B = C_{МАШ}^B + (K_{Ф+К} + K_{П.З.Д.} + K_{Д.Ф.}) C_{МАШ}^B ; \quad (4.1)$$

$$K_{ОБЩ}^H = C_{МАШ}^H + (K_{Ф+К} + K_{П.З.Д.} + K_{Д.Ф.}) C_{МАШ}^B ; \quad (4.2)$$

де  $C_{МАШ}^B$ ,  $C_{МАШ}^H$  - вартість реалізації машини, грн., в базовому і новому варіантах визначена по формулах;  $K_{Ф+К}$  - коефіцієнт обліку витрат на фундамент і підведення комунікацій, за наявності фундаменту рівний 0,35;  $K_{П.З.Д.}$  - коефіцієнт обліку витрат на виробничу будівлю, в якій встановлюється машина, за відсутності необхідності споруди виробничої будівлі рівний 0;  $K_{Д.Ф.}$  - коефіцієнт обліку витрат на інші основні фонди (виробничий інвентар тривалого терміну використання, побутові і складські будівлі, споруди і ін.) рівний 0,35.[6].

#### 4.1 Витрати на підтримання проєкту

Для підрахунку витрат на модернізацію, нижче наведена таблиця товаро-матеріальних цінностей.

Таблиця 4.2 – Перелік товаро-матеріальних цінностей для виконання модернізації


Найменування	Кількість	Ціна, грн	Загалом, грн
Центральний процесор	1	19800	19800
Гідроаккумулятор АО4	1	5566	5566
Блок живлення (24 В).	1	4006,6	4006,6
LENZE, монтажна стійка для базових блоків 6ES7390-1AE80	1	186,2	186,2

Продовження таблиці 4.2

Серводвигун швидкого переміщення супортів	2	17930	35860
Модуль дискретного 16DI/16DO модуль вводу/ виводу 6ES7223-1BL32-0XB0	5	14320	71600
Модуль аналогового вводу 6ES7231-4HD32-0XB0	2	11700	23400
Верстатний пульт – MCP 310C.	1	48916,4	48916,4
Енкодер	4	10000	40000
Головний привід змінного струму	1	500000	500000
Привод супортів	2	120000	240000
Панель оператора – OP 012 з PCU50.3.	1	38258	38258
система ЧПУ LENZE	1	162110	162110
Кабель OLFLEX 140 4G4	30	350	10500
Загалом ( $C_{пр}$ )	-	928685	1200203

Таблиця 4.3 – тип витрат з описанням до модернізації та після модернізації.

Тип витрат	До модернізації	Після модернізації
Витрати на амортизацію, грн	262258,5	534104,5
Витрати на ремонт, грн	52451,7	106820,9
Витрати електроенергію, грн	128399,04	167484,2
Витрати на зарплату, грн:		
Тарифний фонд заробітної плати, грн	1444320	1158720
Додаткова зарплатня, грн	433296	347616,0
Фонд заробітної плати, грн	1877616	1506336
Відрахування до соціальних фондів, грн	413075,52	331393,92
Зарплата з відрахуваннями на соц. фонди, грн	2290691,52	1837729,92



Модернізація або реконструкція промислового обладнання, що виконується відповідно до затвердженого технічного завдання (ТЗ) на проектування, спрямована на оптимізацію його експлуатаційних характеристик та продовження життєвого циклу. Основним технічним ефектом модернізації є оптимізація балансу часу роботи верстата — зокрема, збільшення річного ефективного (корисного) фонду часу роботи обладнання порівняно з базовим показником до модернізації

Це досягається за рахунок:

Підвищення надійності вузлів та зниження аварійних простоїв скорочення тривалості та періодичності планово-попереджувальних ремонтів (ППР) завдяки впровадженню сучасних комплектуючих;

інтенсифікації режимів обробки та автоматизації допоміжних операцій.

Розрахунок відпускної ціни та чистого прибутку від річного обсягу виробництва

Калькуляція ціни реалізації та прогнозування чистого прибутку базуються на планових річних обсягах виробництва, поточному ринковому кон'юнктурі на аналогічну продукцію (послуги), а також на структурі внутрішніх операційних витрат підприємства (ОРЕХ).

При проведенні розрахунків приймаються наступні базові припущення:

1) Собівартість продукції протягом першого року експлуатації модернізованого обладнання відповідає розрахованому плановому рівню;


2) забезпечується 100%-ва реалізація виготовленої продукції (відсутність затоварення складів).

Стратегії ціноутворення в промисловому секторі:

Стратегія, орієнтована на витрати (Cost-plus pricing): Базується на повній калькуляції виробничої собівартості (технологічна собівартість, загальновиробничі та адміністративні витрати) з додаванням фіксованої норми рентабельності (бажаного прибутку). Рівень поточного попиту при цьому є вторинним чинником, а сформована ціна визначає нижню межу рентабельності бізнесу;

стратегія, орієнтована на попит (Value-based pricing): Формується на основі аналізу еластичності ринку та цінності продукту для споживача. Встановлює максимальний ціновий поріг, який готовий платити цільовий сегмент;

стратегія, орієнтована на конкурентне середовище (Competitive pricing): Базується на моніторингу цінової політики конкурентів, оцінці



експлуатаційних переваг власного продукту, рівня сервісного обслуговування та міжремонтного ресурсу обладнання, що постачається.

Обґрунтування вибору стратегії та метод розрахунку

Для даного проекту прийнято стратегію, орієнтовану на витрати, як найбільш раціональну для внутрішньовиробничого аналізу та оцінки ефективності капіталовкладень (CAPEX).

Розрахунок відпускної ціни виконується за інженерно-економічною методикою у двох варіаціях для порівняльного аналізу:

1) Базовий варіант — робота обладнання у поточному (дооснащеному) стані з урахуванням високих витрат на ТО та ремонт;

2) проектний (новий) варіант — робота обладнання після виконання комплексу робіт з модернізації (з урахуванням зміни продуктивності та зниження питомої собівартості одиниці продукції).

Розрахунок та аналіз техніко-економічних показників (ТЕП) призначений для кількісної та якісної оцінки ефективності запропонованих інженерних рішень. Методика оцінювання базується на порівняльному аналізі двох конфігурацій обладнання: базової (до модернізації) та проектної (після впровадження конструктивних змін).

Комплексна оцінка доцільності модернізації машини виконується за критеріями, що охоплюють як технічні параметри, так і вартісні показники. Сюди відносяться: зміна продуктивності, надійність та міжремонтний ресурс, енергоємність процесу, а також капітальні вкладення, термін окупності та зниження собівартості експлуатації.

Зведені результати розрахунків, що демонструють порівняльну ефективність базового та модернізованого варіантів, представлено у формі структурованої матриці в таблиці 4.4.

Показник	Значення	До модернізації	Після модернізації	Зміна показника D
Річний випуск продукції, т	A	772,0	1007,0	-235,0
Витрати на амортизацію системи керування, грн.	$P_A$	262258,5	534104,5	-271846,0
Витрати на ремонт системи керування, грн.	$P_P$	106820,9	52451,7	-54369,2
Витрати на електроенергію, грн.	$P_E$	167484,2	128399,0	-39085,2
Витрати на зарплатню, грн.	$P_3$	2290691,5	1837729,9	452961,6
Собівартість циклу, грн.	C	3541,2	2627,7	913,4

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці.

Повністю небезпечних і нешкідливих виробничих процесів не існує. Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності поразки або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Горизонтально-розточувальний верстат ИС2А636Ф1 відноситься до небезпечних виробничих об'єктів. Найбільш травмонебезпечними є механічні та електричні фактори.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори ДСТУ 2293:2014 поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

До небезпечних фізичних виробничих факторів на кранах відносяться: рухомі частини механізмів, механізми підйому і пересування, що переміщуються вантажі.


До шкідливих виробничих факторів відносяться: підвищена або знижена температура робочої зони, вологість повітря, недостатня освітленість робочих місць, проходів та проїздів.

Залежно від виду трудової діяльності працівника існують різні небезпечні чинники наприклад, для електромонтера, що обслуговує ремонт електрообладнання крана є небезпека ураження електричним струмом, для стропальника - небезпека отримати травму від переміщуваного обладнання або вантажу, від застосовуваних в роботі пристроїв - гаків, стропів, при неправильних діях в процесі своєї роботи, для кранівника - небезпека перекидання крана в разі помилкових дій, а значить, смертельна небезпека для нього і працівників, що знаходяться в робочій зоні крана.

У багатьох випадках наявність шкідливих факторів сприяє прояву небезпечних факторів. Наприклад, надмірна вологість підвищує небезпеку ураження людини електричним струмом.

За умовами експлуатації проєктована електроустановка відноситься до установок з діючим значенням напруги до 1000 В змінного струму промислової частоти 50 Гц. По режиму нейтралі - відноситься до установок з ізольованою нейтраллю.

Ознакою підвищеної електробезпечності зони, в якій знаходиться кран, є висока вологість повітря, так як кран працює на відкритому повітрі і в ангарі. Інших ознак підвищеної небезпеки не виявлено. Таким чином, за небезпекою ураження людей електричним струмом територія роботи крана відноситься до територій з підвищеною небезпекою.



Обсяг і зміст організаційних і технічних заходів, а також необхідні технічні засоби встановлюють залежно від напруги електроустановки, навколишнього виробничого середовища і категорій робіт та нормується згідно правил безпечної експлуатації електроустановок [10].

Підвищену небезпеку роботи устаткування характеризує присутність низки умов, які приведені далі.

Для нормальної роботи кінематичних ланцюгів крана, що труться, застосовується технічне масло, яке є горючою рідиною (температура спалаху вище  $61\text{C}^0$  в закритому тиглі або  $66\text{C}^0$  у відкритому тиглі).

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними оптимальними параметрами:

- 1) температура повітря в межах  $22 \dots 25\text{C}^0$ ;
- 2) відносна вологість до  $75\%$ ;
- 3) швидкість руху повітря до  $0,2\text{м} / \text{с}$ .

При оцінці допустимих значень температури і вологості повітря враховується категорія тяжкості робіт відповідно до загальних енергетичними затратами.

Робота електрика відноситься до 1-ї категорії тяжкості: легкі фізичні роботи, вироблені сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою не потребують систематичного напруги або підняття і перенесення важких предметів; енерговитрати до  $172\text{Дж} / \text{с}$  ( $150\text{ккал} / \text{ч}$ ).

Правильно спроектованій і виконане освітлення на підприємствах машинобудівної промисловості забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності.

Збереження зору людини, стан його нервової системи і безпеку на виробництві.

У зоні роботи крана в світлий час доби застосовується природне освітлення, а в темний час доби або недостатньої освітленості - штучне комбіноване освітлення.


Освітленість комбінованого освітлення -  $150\text{лк}$ , освітленість загального освітлення -  $200\text{лк}$ .

Механічні шуми при роботі крана виникають в результаті пружних коливань деталей крана при переміщенні вантажів в цеху. У загальному випадку, шум генерується кран є тональним, переривчастим.

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів показав необхідність проведення заходів щодо забезпечення безпечних умов праці.[7].

## **5.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці**

Згідно СНІП-II-90-81 «Виробничі будівлі промислових підприємств» виробниче приміщення, де встановлений кран відноситься до пожежонебезпечної категорії В.



1) Пожежна безпека забезпечується шляхом виконання організаційних та технічних заходів відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) загальні вимоги безпеки до конструкції, оснащення і організації робочих місць при проектуванні і виготовленні виробничого обладнання, проектуванні і організації виробничих процесів;

2) робоче місце, його обладнання та оснащення, що застосовуються відповідно до характеру роботи, повинні забезпечувати безпеку, охорону здоров'я і працездатність працюючих;

3) рівні (концентрації) небезпечних і (або) шкідливих виробничих факторів, що впливають на людину на робочому місці, не повинні перевищувати встановлених гранично допустимих значень;

4) робоче місце і взаємне розташування його елементів повинні забезпечувати безпечне і зручне технічне обслуговування і чищення.

Безпека експлуатації кранових електричних механізмів та електродвигунів забезпечується за рахунок заходів відповідно вимог, ДСТУ та Правил.

Аналіз травматизму показує, що більшість нещасних випадків з працівниками, які обслуговують електроустановки, відбувається в результаті втрати їм орієнтування при оглядах, ремонтах і випробуванні. Електричні блокування є найбільш надійним засобом захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом. Вони перешкоджають доступу працівників до струмоведучих частин електроустановок, що знаходяться під напругою.

Обмежувачі так само як електричні блокування, служать для захисту людей і устаткування при неправильних діях в процесі роботи. Сигналізація є засобом, що дозволяє працівникам орієнтуватися в разі аварійної ситуації і вжити необхідних заходів обережності.

З метою захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин окремі блоки перетворювача ховаються в металевих коробках, які монтуються в шафи і заземлюються.


Частотний перетворювач, що живить комплектний електропривод, встановлюється в спеціально відведеному для нього шафі. Корпус перетворювача заземлюється. Шафи мають спеціальні замки, які дозволяють відкривати їх тільки ключами, які є в обслуговуючого і чергового електроперсоналу.

Опір ізоляції силових і освітлювальних електропроводок, ділянки кола з ізольованою нейтраллю не менше 0,5 МОм.

Випробування ізоляції проводиться не рідше одного разу на рік.

Захисне відключення забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки пошкодження електричним струмом.

Для відключення електроустановки при глухому або неповному замиканні на землю, а також при зниженні опору ізоляції нижче критичної



величини застосовується пристрій автоматичного контролю ізоляції УАКІ-380 (при відключенні мережі з ізованою нейтраллю) або автомат.

Працівники, які обслуговують кран, зобов'язані знати «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (ПБЕЕС) в обсязі вимог, визначених професією і посадою і мати відповідну виконуваних робіт кваліфікаційну групу з електробезпеки.[9].

Для забезпечення параметрів мікроклімату і чистоти повітря в робочій зоні цеху застосовується загально обмінна змішана вентиляція.

Для забезпечення нормованих рівнів освітленості застосовується місцеве освітлення з відкритими світильниками (світильник відкритого типу) з напругою живлення не вище 42 В.

Для захисту від шуму доцільно застосування навушників ВЦННІОТ-4А або ВЦННІОТ-2М.

Пожежна безпека включає в себе заходи щодо забезпечення заходів, що перешкоджають виникненню пожежі згідно НАПБ А.01.001-95 «Правила пожежної безпеки в Україні».[10].

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз технічних характеристик, детально описано принцип функціонування, а також спроектовано прогресивний технологічний процес механічної обробки деталей на важкому горизонтально-розточувальному верстаті моделі ІС2А636Ф1. Особливу увагу приділено специфіці кінематики верстата та оптимізації режимів різання задля підвищення точності й продуктивності обробки складнопрофільних корпусних деталей.

З метою модернізації обладнання та підвищення його енергоефективності розроблено та впроваджено автоматизовану систему керування (АСК) головним електроприводом верстата. У межах реалізації системи автоматизації:

Спроектовано сучасну систему електроприводу: плавну зміну та прецизійне регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна шпindelної бабки реалізовано на базі сучасних напівпровідникових перетворювачів частоти (ПЧ).

Оптимізовано режими керування: використання частотного регулювання (зокрема, із застосуванням векторного керування) дозволило забезпечити стабільний момент на валу двигуна у широкому діапазоні регулювання, мінімізувати динамічні навантаження на механічні вузли під час пуску та реверсу, а також суттєво знизити питоме споживання електроенергії.

Інтегровано систему захисту та діагностики: АСК забезпечує безперервний моніторинг робочих параметрів електроприводу, захист від перевантажень та аварійних режимів роботи, що підвищує загальну надійність та експлуатаційний ресурс верстатного комплексу.

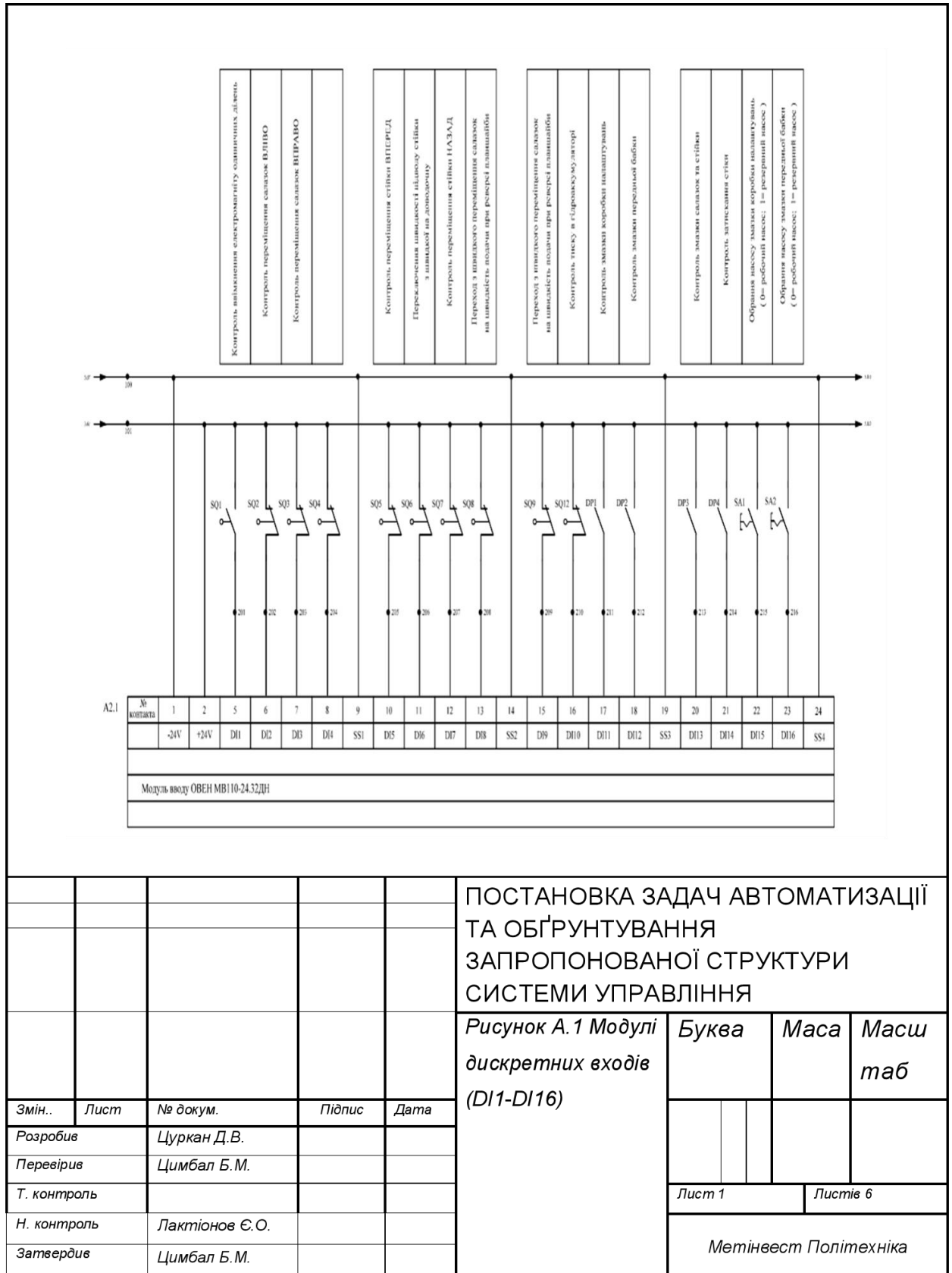
Результати роботи мають практичне значення для модернізації верстатного парку промислових підприємств шляхом переходу від застарілих релейно-контакторних систем та систем «генератор-двигун» до сучасних автоматизованих частотно-регульованих електроприводів.

Графічна частина містить схеми модулів дискретних вхідних та вихідних сигналів, функціональна схема підключення активного модуля живлення, конфігурований модуль управління верстатом.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електричний привід. Терміни та визначення / за ред. С.К. Козирева. - К.: Видавництво МЕІ, 2015. - 96 с.
2. Закладний О. М., Праховник А. В., Малярєнко В. А. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. — Київ: Кондор, 2005. — 408 с.
3. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни "Автоматизований електропривод" (для студентів спеціальності 7.092501) /укл. О.В. Суботін. Краматорськ: ДДМА, 2006. 32 с.
4. Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму по дисципліні "Цифрові системи керування й обробки інформації" (для студентів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології») / уклад. О. О. Сердюк. Краматорськ: ДДМА, 2018. 87 с.
5. Ковальчук Г. О. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: Навчальний посібник. — Харків: Видавництво «Точка», 2017. — 206 с.
6. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів студентів спеціальності «Автоматизація технологічних процесів» / Упоряд. О.В. Суботін. - Краматорськ: ДДМА, 2014. - 36с.
7. Охорона праці: рекомендації по виконанню розділу в дипломному проекті бакалавра для студентів технічних спеціальностей / сост .: Л. В. Дементій, А. Л. Юсіна. - Краматорськ: ДДМА, 2012. - 176 с.
8. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інш. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка». К.: Либідь, 2005. 680 с. Ч1.
9. Правила безпечної експлуатації електроустановок : НПАОП 40.1-1.01-97 : затв. Держнаглядохоронпраці України 06.10.1997 : зміни Держнаглядохоронпраці України, наказ № 26 від 25.02.2000.
10. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014 : на заміну НАПБ А.01.001-2004: затв. Міністерством внутрішніх справ 30.12.2014 : чинний від 03.10.2017.
11. Чорний О. П., Луговий А. В., Родькін Д. Й. та ін. Експлуатація та діагностика систем частотно-регульованого електропривода: Навчальний посібник. — Кременчук: КДПУ, 2008. — 352 с.

## ДОДАТОК А МОДУЛІ ДИСКРЕТНИХ ВХОДІВ ТА ВИХОДІВ



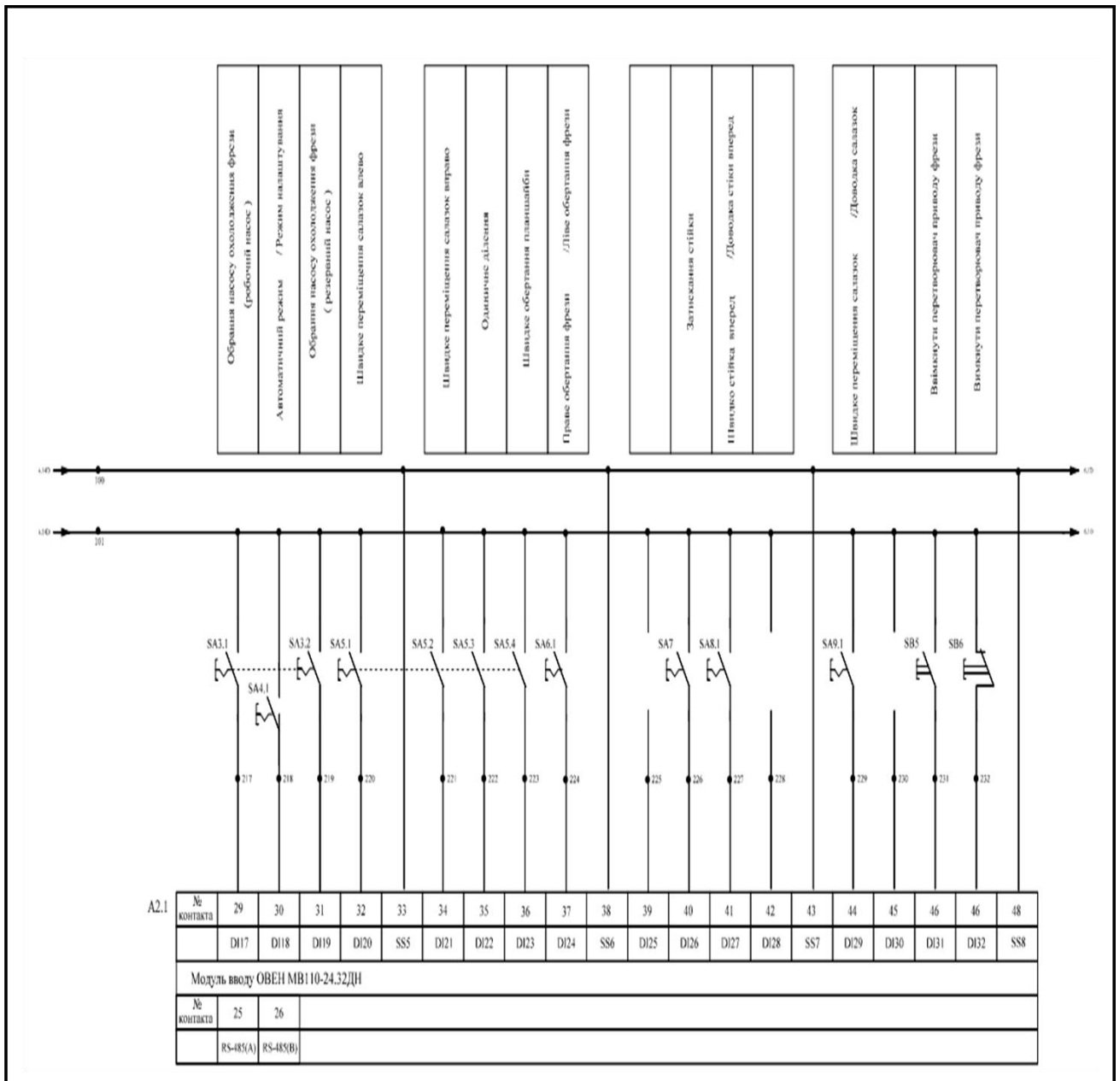
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ТА ОБҐРУНТУВАННЯ  
ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ  
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

*Рисунок А.1 Модулі дискретних входів (DI1-DI16)*

Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Цуркан Д.В.		
Перевірів		Цимбал Б.М.		
Т. контроль				
Н. контроль		Лактіонов Є.О.		
Затвердив		Цимбал Б.М.		

Буква	Маса	Масш таб
Лист 1		Листів 6
Метінвест Політехніка		

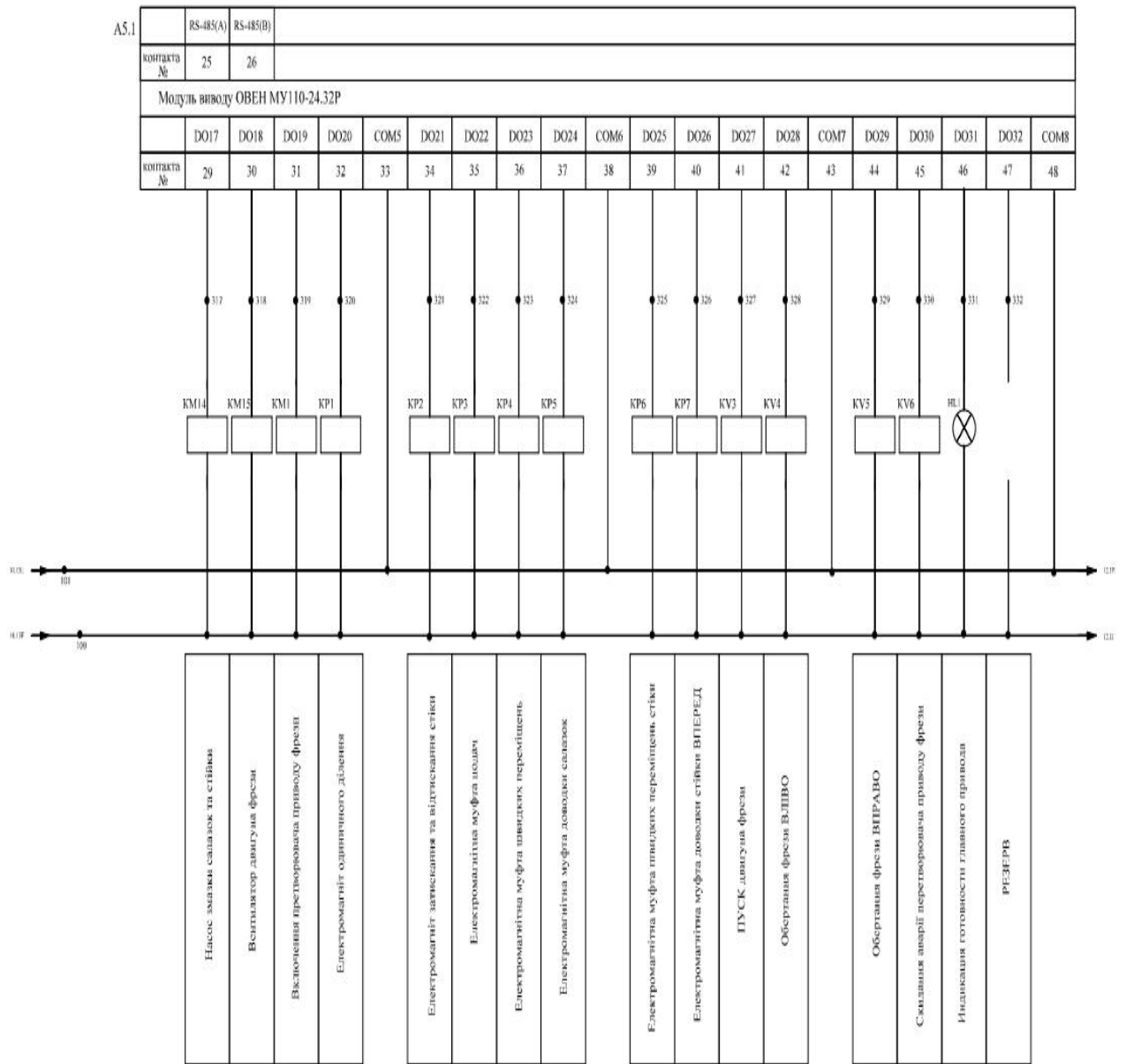
Рисунок А.1 - Модулі дискретних входів (DI1-DI16)



					<b>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ</b>				
					<i>Рисунок А.2</i>		<i>Буква</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Змін..</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Модулі дискретних входів (DI17-DI32)</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Цуркан Д.В.</i>							
<i>Перевірів</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>							
<i>Т. контроль</i>							<i>Лист 2</i>		
<i>Н. контроль</i>		<i>Лактіонов Є.О.</i>					<i>Листів 6</i>		
<i>Затвердив</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>					<i>Метінвест Політехніка</i>		

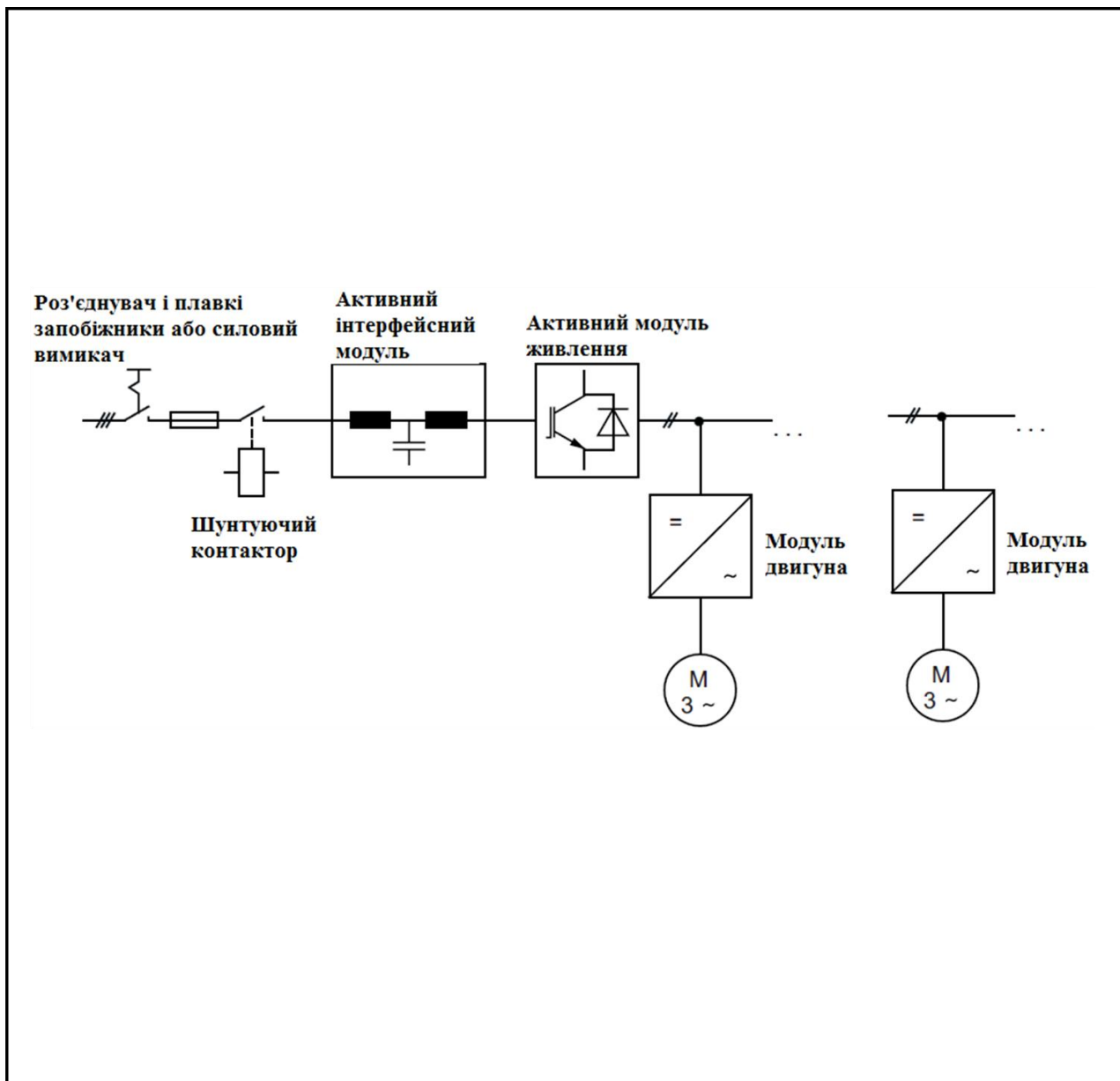
Рисунок А.2 - Модулі дискретних входів (DI17-DI32)





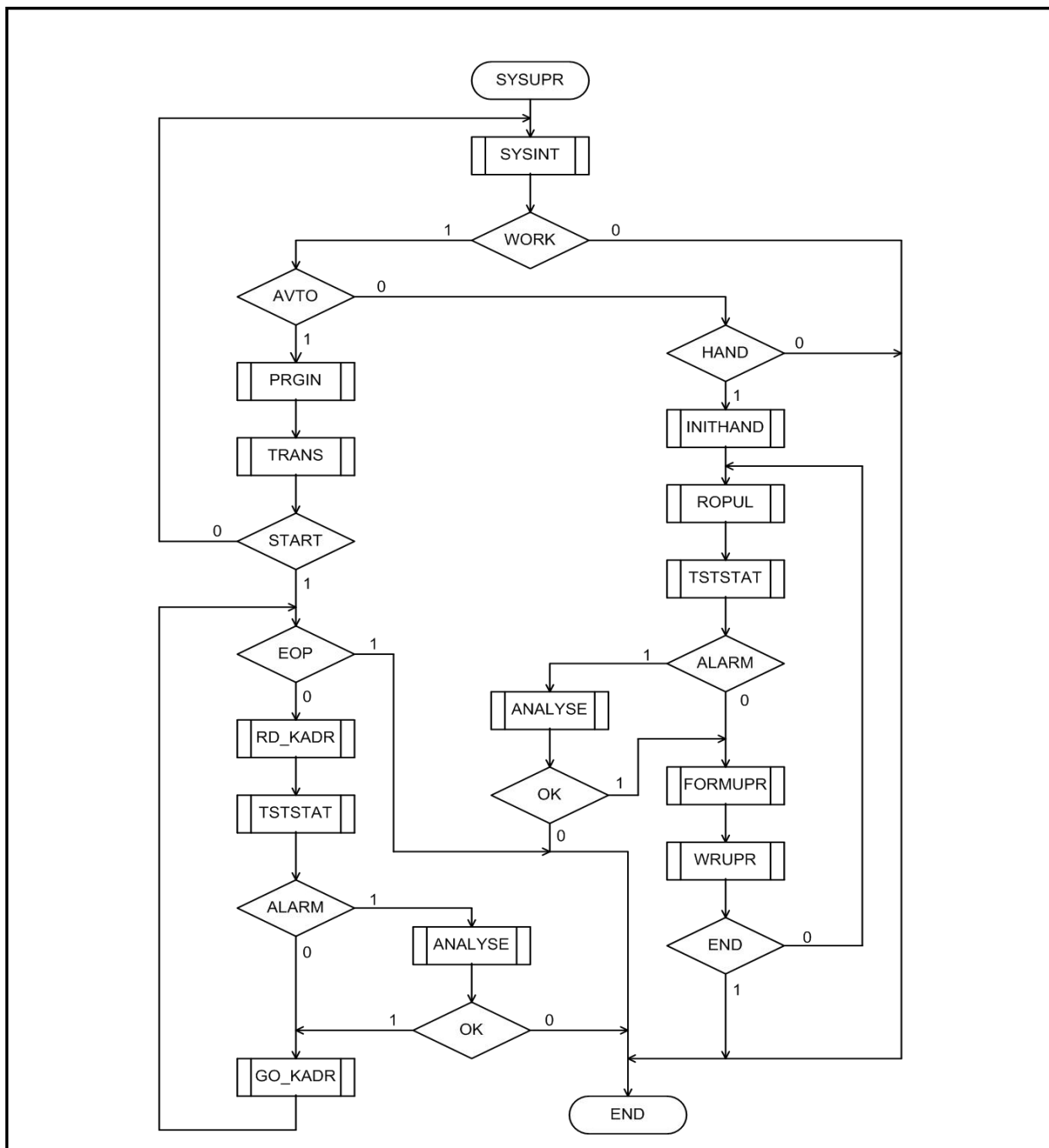
					<b>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ</b>						
					<b>Рисунок А.4</b> <b>Модулі</b> <b>дискретних</b> <b>виходів</b> <b>(DO17-DO32)</b>	<b>Буква</b>		<b>Маса</b>		<b>Масштаб</b>	
<b>Змін..</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>							
<i>Розробив</i>		<i>Цуркан Д.В.</i>									
<i>Перевірів</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>									
<i>Т. контроль</i>											
<i>Н. контроль</i>		<i>Лактіонов Є.О.</i>									
<i>Затвердив</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>									
						Лист 4		Листів 6			
						<b>Метінвест Політехніка</b>					

Рисунок А.4 - Модулі дискретних виходів (DO17-DO32)



					ПЕРЕВТІЛЕННЯ АЛГОРИТМУ КОНФІГУРАЦІЇ				
					Рисунок А.5 Функціональна схема підключення активного модуля живлення	Буква	Маса	Масштаб	
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Цуркан Д.В.							
Перевірів		Цимбал Б.М.							
Т. контроль									
Н. контроль		Лактіонов Є.О.							
Затвердив		Цимбал Б.М.							
						Лист 5		Листів 6	
						Метінвест Політехніка			

Рисунок А.5 - Функціональна схема підключення активного модуля живлення



					ПЕРЕВТІЛЕННЯ АЛГОРИТМУ КОНФІГУРАЦІЇ			
					Рисунок А.6 Конфігурований модуль управління верстатом	Буква	Маса	Масштаб
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Цуркан Д.В.						
Перевірів		Цимбал Б.М.						
Т. контроль						Лист 6	Листів 6	
Н. контроль		Лактіонов Є.О.				Метінвест Політехніка		
Затвердив		Цимбал Б.М.						

Рисунок А.6 - Конфігурований модуль управління верстатом