

ННІ/факультет	<u>Навчально-науковий технологічний інститут</u>
Кафедра	<u>Електричної інженерії та автоматизації</u>
Спеціальність	<u>174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»</u>
Форма навчання	<u>Денна</u>

Кривий Ріг – 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ Пильову Богдану Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування пристроєм поперечного вв'язування бунтів катанки в умовах ДДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник випускної роботи _____ Григор'єва Вікторія Георгіївна, доцент, к.т.н. _____

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року № 239-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

Об'єкт автоматизації - пристрій поперечного вв'язування бунтів катанки стану ДДС 250/150-6; зовнішній діаметр бунта - 1250 мм; внутрішній діаметр - 850 мм; висота бунта - 1750 мм; діаметр зв'язкового дроту - 5,5-6,0 мм; час одного вв'язування - 1 хв; автоматичні режими - А1 (одне вв'язування), А2 (два вв'язування); ремонтно-налагоджувальні режими - Р1, Р2; кількість датчиків положення - 5 шт. (IFM Electronic IGB3008, IP67); керуючий пристрій - Siemens SIMATIC S7-1500; коефіцієнт готовності - не менше 0,995; час відновлення - не більше 30 хв

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити.

4.1 Аналітична частина: Загальна характеристика стану ДДС 250/150-6 та технологічний процес. Характеристика пристрою поперечного вв'язування бунтів. Аналіз діючої системи керування на релейно-контакторній апаратурі та її недоліки. 4.2 Основна частина: Вимоги до структури та функціонування нової системи. Вибір та обґрунтування контролера та датчиків. Структурна та функціональна схеми системи автоматизації. Алгоритм автоматичного керування машиною. Вибір мови програмування. Розрахунок надійності. Заходи з охорони праці: аналіз шкідливих факторів, розрахунок теплопередачі заслінки печі, розрахунок захисного заземлення, пожежна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 ВРБ.174.239-ст.13.E7.1 - Схема розташування устаткування сортової лінії «250» ДДС-250/150/6; ВРБ.174.239-ст.13.E7.2 - Загальний вигляд машини зав'язки бунтів; ВРБ.174.239-ст.13.E1 - Структурна схема системи керування; ВРБ.174.239-ст.13.E2 - Функціональна схема; ВРБ.174.239-ст.13.E0 - Алгоритм роботи машини зв'язування бунтів

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Григор'єва В.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	22.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	29.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	08.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Пильов Б.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Григор'єва В.Г.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення	Назва			Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.174.239-ст.13.Е7.1	Схема розташування			1		
2			устаткування сортової					
3			лінії «250» ДДС-250/150/6					
4								
5	A3	ВРБ.174.239-ст.13.Е7.2	Загальний вигляд			1		
6			машини зав'язки					
7			бунтів					
8								
9	A3	ВРБ.174.239-ст.13.Е1	Структурна схема			1		
10			системи керування					
11								
12	A3	ВРБ.174.239-ст.13.Е2	Функціональна схема			1		
13								
14	A3	ВРБ.174.239-ст.13.Е0	Алгоритм роботи			1		
15			машини зв'язування					
16			бунтів					
17								
18	A4	ВРБ.174.239-ст.13.ПЗ	Пояснювальна записка			44		
19								
20								
21								
					ВРБ.174.239-ст.13.ВР			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Пильов Б.О.						
Пров.		Григор'єва В.Г			Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування пристроєм поперечного зв'язування бунтів катанки в умовах ДДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	Літера	Аркуш	Аркушів
							4	1
Н.контр.		Григор'єва В.Г				ННТІ ДУЕТ		
Затв.		Модло Є.О.				Каф.ЕІА		
						гр. АВ-23ск		
Відомість роботи								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи містить: сторінок – 44, рисунків – 9, таблиць – 7, джерел – 28.

Об'єкт розробки – пристрій поперечного вв'язування бунтів катаного дроту, що працює у складі дрібносоротно-дротового стану ДДС 250/150-6 умов ДСС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Предмет розробки – система автоматичного керування електроприводом та гідроприводом зазначеного пристрою.

Мета роботи – спроектувати систему керування приводом машини поперечного вв'язування бунтів катанки, яка підвищує надійність та безвідмовність функціонування обладнання.

Методи дослідження – поєднання аналітичного опрацювання технологічного процесу з експериментальною перевіркою прийнятих рішень.

У роботі спроектовано систему керування приводом машини поперечного вв'язування мотків катанки, яка гарантує сталу та безвідмовну роботу обладнання. Запропонована система реалізує два режими – автоматичний і ручний, опитує датчики, блокує помилкові дії оператора та відображає повідомлення про несправності на пульті керування. Авторка встановила причину зниження показників діючої системи, побудованої на релейно-контакторній елементній базі, та обґрунтувала економічний ефект від ухвалених проектних рішень.

Ключові слова: дрібносортовий прокат, катанка, надійність, пристрій поперечного вв'язування, програмований логічний контролер, режим роботи, система керування.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Безперервний дрібносортний стан як технологічний об'єкт керування.....	9
1.2 Загальна характеристика стану та його технологічний процес	9
1.3 Характеристика пристрою для поперечного вв'язування бунтів катанки.	11
1.4 Параметри пристрою для поперечного вв'язування бунтів катанки	13
1.5 Відомості про об'єкт розробки.....	14
1.6 Характеристика діючого устаткування	14
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	16
2.1 Призначення та використання системи.....	16
2.2 Вимоги до структури та функціонування системи	17
2.3 Вимоги до надійності	18
2.4 Опис вхідної інформації.....	19
2.4.1 Перелік сигналів системи	19
2.5 Контролер та його характеристики.....	20
2.6 Розміщення датчиків та виконавчих пристроїв.....	24
2.7 Мова програмування	25
2.8 Вибір датчиків.....	26
2.9 Математичне забезпечення системи автоматичного керування.....	29
2.10 Охорона праці.....	32
2.10.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів.....	32
2.10.2 Заходи зі зниження шкідливих та небезпечних факторів	34
2.10.3 Розрахункова частина	35
2.10.4 Розрахунок захисного заземлення	36
2.10.5 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди	38
2.10.6 Пожежна безпека.....	39
2.10.7 Екологія та охорона навколишнього середовища.....	40
ВИСНОВКИ.....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	42

ВСТУП

Металургійний комплекс залишається однією з найрезультативніших галузей вітчизняної промисловості, а його продукція утримує конкурентні позиції на світових ринках [1]. Прокат у формі залізничних рейок, будівельних балок, труб різного призначення, дроту та сортової сталі широко затребуваний практично в усіх сферах національного господарства. Сучасна держава не може повноцінно розвиватися без металургійного виробництва, а високі темпи зростання економіки прямо залежать від наявності розвиненої металургії [1].

Найвищий прибуток підприємство отримує тоді, коли реалізує продукцію у вигляді сортового прокату та катанки [2]. Через це конкурентоспроможність товару та результативність роботи заводу визначаються насамперед ефективністю прокатного переділу й якістю готового сорту.

Механічні характеристики кінцевої продукції формуються як технологією дрібносортних станів, так і якістю заготовки, що надходить із блюмінгів [2]. Забезпечення якості заготовки належить до найгостріших проблем виробництва: неякісна заготовка перешкоджає отриманню конкурентного прокату з високоякісної сталі. Підприємство впроваджує машину безперервного лиття заготовок, і після вирішення цього питання технологічні лінії станів, передусім ДС-1 та ДДС-250/150, забезпечать потрібні механічні властивості готового прокату [3].

Щойно проблему якості заготовки буде розв'язано, вирішальну роль для якості прокату відіграватиме точність його геометрії. Забезпечити цю точність вдається лише за наявності сучасних автоматизованих засобів керування технологічним процесом, а отже, стан ДДС-250/150-6 вимагає оновлення керуючих систем [3].

Необхідність оновлення систем керування дрібносоротної лінії стану ДДС 250/150-6 спричинена насамперед фізичним і моральним зношенням наявних засобів, що відповідають за швидкісний режим прокатки та вже не повністю задовольняють вимоги технології. Ситуацію загострили модернізація стану з

уведенням сучасної дротової лінії та загальна тенденція до підвищення точності геометрії дрібносортового прокату [4].

Системи керування швидкісним режимом прокатки забезпечують точне налаштування й стабілізацію безперервної прокатки, що підвищує точність геометричних розмірів готового прокату та скорочує непродуктивні витрати часу на налаштування [4]. Налаштовуючи режим, технологи прагнуть скоротити час виходу на швидкісний режим, підтримувати його за рахунок своєчасної корекції та створити умови для стабільної роботи всього технологічного ланцюга.

Проблема має дві складові. По-перше, наявна система керування приводом машини поперечного вв'язування бунтів катанки побудована на релейно-контакторній апаратурі, яка вирізняється низькою стабільністю та вже відпрацювала ресурс. По-друге, після введення в експлуатацію дротової лінії в цеху Прокат-3 діапазон швидкостей прокатки істотно розширився [5]. Саме ці обставини зумовлюють актуальність роботи.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Безперервний дрібносортний стан як технологічний об'єкт керування

Дрібносортний стан становить взаємопов'язаний технологічний ланцюг, усі ланки якого вимагають централізованого керування [2]. Щоб усі механізми, задіяні в технологічному процесі, працювали безперервно, доводиться об'єднувати їхні локальні системи керування у взаємопов'язану автоматизовану систему керування виробничим процесом стану. Такий підхід забезпечує узгодженість роботи окремих механізмів і стабільність усього переділу [3].

1.2 Загальна характеристика стану та його технологічний процес

Безперервний дрібносортно-дротовий стан ДДС 250/150-6 виготовляє сортовий прокат і катанку в мотках з конструкційних, вуглецевих сталей звичайної якості та легованих марок [6]. Сортамент продукції наведено нижче.

а) на сортовій лінії 250 при виробництві підкату:

сталь кругла діаметром від 14 до 36 мм; сталь квадратна зі стороною від 14 до 36 мм; сталь шестигранна від 14 до 40 мм;

б) на дротовій лінії 150 при виробництві катанки та сортового прокату:

катанка діаметром від 5,5 до 9,0 мм; сортовий прокат діаметром від 10,0 до 12,0 мм; арматура від 5,5 до 12,0 мм.

Початковою сировиною слугує квадратна заготовка перерізом 150×150 мм та 125×125 мм, довжиною від 10 до 12 м і масою 2100 кг [6]. Комплекс безперервного дрібносортно-дротового стану 250/150 формують кілька ділянок: підготовки заготовки з правильною машиною та обдирно-зачисного відділення зі зачисними верстатами; власне прокатної частини зі станом, де працюють нагрівальна піч, сортова лінія 250 і дротова лінія 150 разом з обладнанням завершальної ділянки; нарешті, термічного відділення, оснащеного прохідними

й ковпаківими печами [6]. Як розташоване устаткування сортової лінії, ілюструє рис. 1.1.

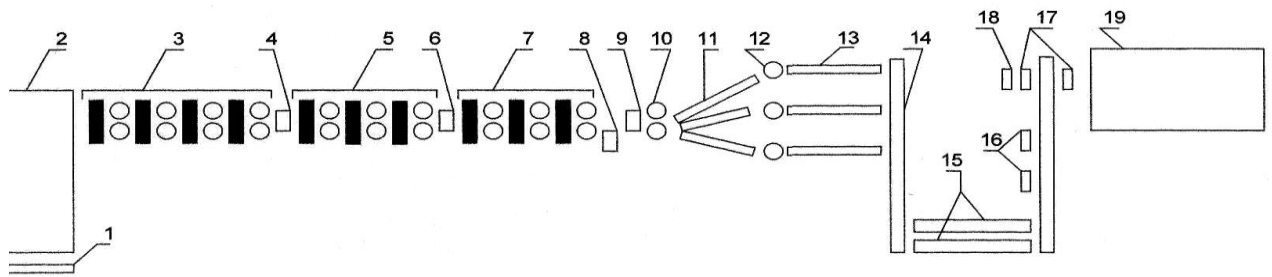


Рис. 1.1. Схема розташування устаткування сортової лінії «250» ДДС-250/150/6 [6]

На рис. 1.1 позначено: 1 – задавальний рольганг із вбудованими вагами; 2 – нагрівальна піч; 3 – чорнова група клітей; 4, 6, 9 – кривошипні ножиці; 5 – проміжна група клітей; 7 – чистова група клітей; 8 – прилад контролю геометричних розмірів прокату; 10 – трайбапарат; 11 – лінії охолодження прокату; 12 – моталки; 13 – крокуючі транспортери за моталками; 14 – рольганг; 15 – транспортер із крокуючими колосниками; 16 – в'язальні машини; 17 – перекидальний пристрій; 18 – бунтознімальна машина; 19 – склад готової продукції.

Конструктивно стан поділено на дві лінії – сортову 250 та дровову 150. У сортовій лінії розміщено по десять горизонтальних і вертикальних клітей дуо, які зведено у три групи – чорнову, проміжну та чистову [6]. До чорнової групи належить вісім клітей, з яких чотири мають горизонтальні, а чотири – вертикальні валки; проміжна й чистова групи налічують по шість клітей кожна (три з горизонтальними та три з вертикальними валками). Привід кожної кліті виконано окремим електродвигуном постійного струму [6].

На стиках чорнової з проміжною та проміжної з чистовою групами встановлено кривошипні старт-стопні ножиці, оснащені окремим пристроєм

для збирання обрізі; вони відрізають кінці смуги й виконують аварійну порізку, якщо прокатку порушено [6]. Далі за станом працюють кривошипні ножиці для відбору проб, установки прискореного охолодження, три сортові моталки та механізована лінія, що транспортує, ув'язує й збирає готову продукцію. У сортовій лінії прокатка сягає швидкості 20 м/с [6].

1.3 Характеристика пристрою для поперечного вв'язування бунтів катанки

Механізований пристрій поперечного вв'язування бунтів катанки об'єднує групу взаємопов'язаних елементів обладнання. Машина включає опору, по якій переміщується візок; візок слугує опорою для рами в'язальної машини та гідросистеми [7]. Верхня рама несе вузол подачі дроту і технологічно пов'язані елементи – блок обв'язки та проводку. Загальний вигляд машини подано на рис. 1.2.

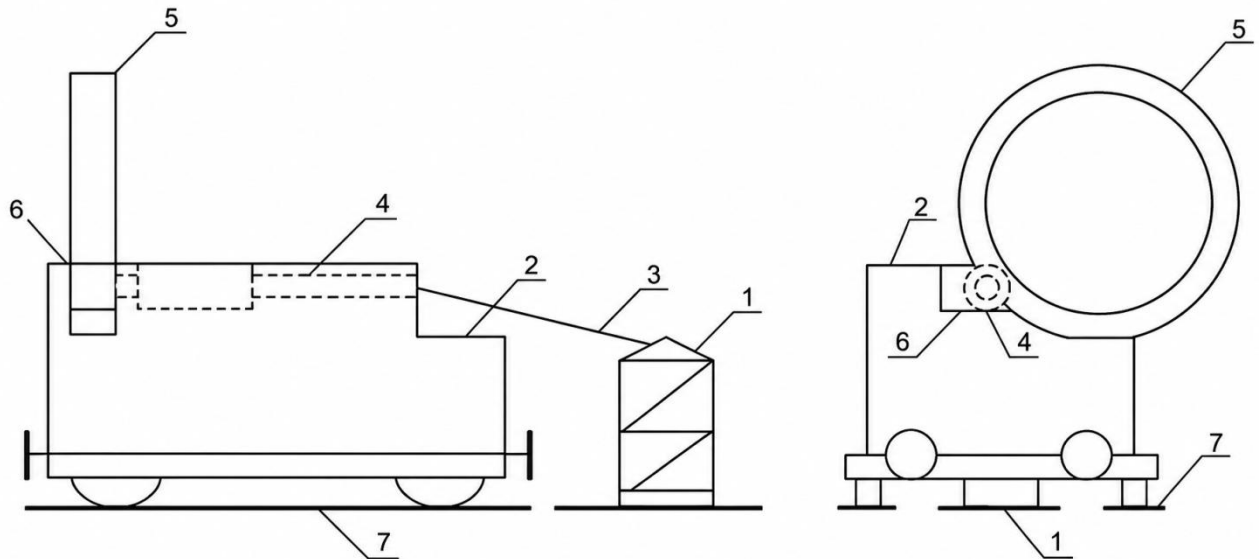


Рис. 1.2. Загальний вигляд машини зав'язки бунтів [7]

На рис. 1.2 позначено: 1 – шпуля з в'язальним дротом; 2 – рамна конструкція; 3 – в'язальний дріт; 4 – трайбапарат; 5 – ділянка подачі дроту; 6 – скручувальна головка; 7 – основа. Гідросистема об'єднує гідростанцію, два модульні блоки, гідроциліндр, гідромотори та рукави високого тиску; усі вони

змонтовані просто на машині й утворюють автономний гідропривід установки [7].

Проводка зібрана з роликів, які тримають зв'язковий дріт на потрібному рівні впродовж шляху від розмотувача до машини та формують скрутки. Сам розмотувач – рамна конструкція, що подає дріт із бунта на машину, а під час його зворотного ходу накопичує надлишок. Дві каретки – робоча й резервна – переміщуються вздовж станини, яка править їм за напрямну колію [7].

Машина працює в кількох режимах. У режимі A1 виконується одне поперечне вв'язування по центру бунта шириною до 500 мм; усі операції відбуваються автоматично. У режимі A2 виконуються два вв'язування на бунті шириною понад 500 мм симетрично відносно центру на відстані 500 мм один від одного, також у автоматичному циклі. Режими P1 і P2 – пусконаладжувальні: вони повторюють логіку A1 та A2, але кожен наступну операцію оператор запускає окремою кнопкою на пульті, що зручно для покрокового контролю під час налагодження [7].

Готуючись до роботи, оператор спершу ставить катушку з бунтом зв'язкового дроту, розміщену на візку, під прийомну лінійку розмотувача. Потому дріт пропускають крізь розмотувач і ведуть проводкою до машини. Щоб заправити його, знімають захисну кришку проводки, вкладають дріт у напрямні ролики проводки й вузла подачі, переводять вузол подачі на затиск і повертають кришку назад [7]. Далі дріт проштовхують проводкою машини, аж поки його передній кінець, проминувши блок обв'язки, не замкне контактний вимикач, що зупинить подачу. Обравши режим (A1, A2, P1 чи P2) і отримавши з крюкового конвеєра сигнал про зупинку гака з бунтом у вихідній точці, оператор переводить машину в готовність [7].

Автоматичний цикл A1 розгортається в такій послідовності. На старті спрацьовує розподільник підйому блоку обв'язки, тоді як машина із заправленим дротом перебуває у вихідній точці. Потім вмикається розподільник руху вперед, і щойно в місці вв'язування замкнеться кінцевий вимикач, машина спиняється. Услід один за одним активуються розподільник,

що натягує обв'язувальний дріт довкола бунта, та розподільник, що затискає його кінець у блоці обв'язки. Далі вступає в дію розподільник скручування кінців дроту, а через секундну затримку затиснуті кінці вивільняються; число витків (до п'яти) добирають за часом під час роботи. Скручувальна головка повертається у вихідне положення й знеструмлюється, після чого спрацьовують розподільники заправлення дроту в проводку. Замикання контактної вимикача припиняє заправлення та вмикає затиск переднього кінця. Машина прямує до місця вв'язування № 2, повторює ті самі дії й повертається назад – цикл А1 на цьому завершено [7]. Режим А2 повторює цю схему, окрім кроку з повторним переміщенням машини.

1.4 Параметри пристрою для поперечного вв'язування бунтів катанки

Основні параметри пристрою наведено в табл. 1.1 [7].

Таблиця 1.1

Технічні параметри пристрою поперечного вв'язування бунтів катанки [7]

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Зовнішній діаметр бунта	мм	1250
2	Внутрішній діаметр бунта	мм	850
3	Висота бунта	мм	1750
4	Діаметр зв'язкового дроту	мм	5,5–6,0
5	Автоматичні режими роботи	—	А1, А2
6	Ремонтно-налагоджувальні режими	—	Р1, Р2
7	Кількість витків в ув'язуванні	шт.	1
8	Кількість ув'язувань у режимі А1	шт.	1
9	Кількість ув'язувань у режимі А2	шт.	2
10	Час ув'язування	хв	1

1.5 Відомості про об'єкт розробки

Машина поперечного вв'язування бунтів катанки виконує додаткове поперечне вв'язування мотка, фіксуючи основні в'язки від сповзання під час транспортування та покращуючи товарний вигляд готової продукції [7]. Упаковані на гідропресах мотки катанки крюковий конвеєр подає в зону роботи машини. Машина наїжджає на моток, що перебуває на конвеєрі, вв'язує його та повертається у вихідне положення.

Оператор керує машиною з пульта керування. Усі механізми, крім вузла подачі в'язального дроту для заправлення в трайбапарат (його обслуговують вручну), мають гідравлічний привід [7].

1.6 Характеристика діючого устаткування

Апаратура керування, захисту й автоматики приводу машини поперечного вв'язування виконує пуск, зміну напрямку руху та відключення. Ці операції реалізують або апаратами ручної дії (рубильники, найпростіші вимикачі, пускові й регулювальні реостати та контролери), або автоматично [8]. Ручне керування потребує від персоналу досить високої кваліфікації, а за частих вмикань і вимикань стає непридатним: вимагає значних фізичних зусиль, має великі габарити та не забезпечує потрібної послідовності роботи окремих елементів схеми.

Автоматичне керування реалізує дистанційний пуск двигунів, реверс, зупинку та чітку послідовність цих операцій. За рахунок скорочення тривалості перехідних режимів зменшується час робочих циклів, тож зростає продуктивність і надійність, а аварійність знижується, бо помилкові операції виключено [8]. Діюча система керування пристроєм поперечного вв'язування бунтів дроту побудована на релейно-контакторній апаратурі.

Релейно-контакторній апаратурі притаманні відчутні недоліки: ресурс її обмежений зношенням контактів, а спрацьовує вона повільно через

інерційність рухомих елементів, що у розгалужених схемах суттєво погіршує надійність [8]. Побудовані на контактних реле рішення не забезпечують ані гнучкого, ані ефективного керування процесами, адже кожна зміна технологічного циклу тягне за собою перемонтування численних елементів керування й контролю. Через громіздкість та недовговічність реле доводиться будувати складні системи діагностики, а виявлення несправності серед тисяч контактів потребує чималого штату фахівців [8]. З огляду на це наявну систему варто замінити сучасною мікропроцесорною.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення та використання системи

Система виконує автоматичне регулювання та контроль операції поперечного вв'язування мотків катанки на стані ДДС 250/150-6 [9]. Її провідне завдання – вести вв'язування бунтів у автоматичному режимі, причому керованим об'єктом виступає сам пристрій поперечного вв'язування. Функціональну будову обладнання машини ілюструє рис. 2.1.

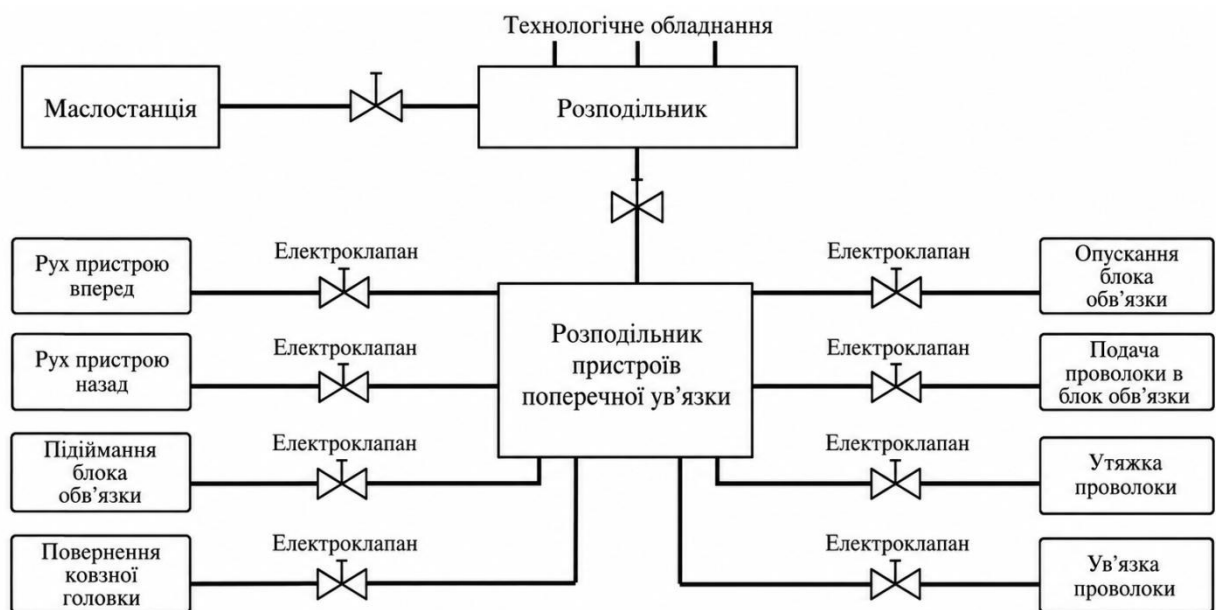


Рис. 2.1. Функціональна структура гідравлічної системи керування пристроєм поперечного вв'язування бунтів [9]

Наведена структура (рис. 2.1) ілюструє розподіл команд від маслостанції та розподільника до електроклапанів виконавчих механізмів пристрою поперечного вв'язування – руху машини вперед і назад, підйому й опускання блока обв'язки, подачі, натягування та вв'язування дроту, а також повернення скручувальної головки.

2.2 Вимоги до структури та функціонування системи

Система має забезпечувати два режими – автоматичний і ручний [9]. Основним є автоматичний режим, що підтримує стабільну роботу відповідно до технічних інструкцій. На ручне керування виконавчим механізмом переходять у разі відмови засобів автоматики, а також під час пусконаладжувальних робіт.

Працюючи в ручному режимі, оператор може запускати та зупиняти будь-який механізм машини. Паралельно система зчитує показання датчиків і не допускає хибних команд, повідомляючи про них на пульті керування. Перехід у цей режим відбувається після встановлення перемикача «Режим роботи» в позицію «Ручний», коли на пульті засвічується відповідне повідомлення. Самими механізмами оператор керує підписаними кнопками [9].

Керування машиною. Машиною керують кнопками «Уперед» і «Назад» під написом «Рух машини»; машина рухається до найближчого датчика й зупиняється.

Керування блоком обв'язки. Блок обв'язки переміщують кнопками «Нагору» й «Униз» під написом «Блок обв'язки»: при підйомі він рухається до датчика верхнього положення, при опусканні – до датчика нижнього положення.

Керування механізмом скручування. Механізм скручування приводиться кнопкою «Скручування» під написом «Механізм скручування»; потрібну кількість повних обертів головки задає оператор.

Керування механізмом подачі дроту. Механізм подачі дроту обслуговують два тумблери «Затиск 1-го кінця» та «Затиск 2-го кінця» і дві кнопки «Заправлення» й «Утяжка» під написом «Подача дроту». У верхньому положенні тумблери затискають кінці, у нижньому – віджимають. Дріт заправляють до спрацювання датчика «Закінчення заправлення», а час натягу задає оператор.

У ручному режимі дозволено змінювати параметри технологічного процесу й налаштування системи. Для аварійної зупинки натискають кнопку «Стоп». Систему реалізують на сучасних технічних засобах автоматизації [9].

У автоматичному режимі процес керується згідно із заданими параметрами: датчики опитуються, а повідомлення про помилки надходять оператору на пульт. Активувати цей режим дозволено лише за дотримання чотирьох умов: машина стоїть у вихідній позиції; блок обв'язки піднято у верхнє положення; у нього заправлено дріт; передній затиск зафіксовано [9].

Коли бодай одну з умов порушено, перемикання в автоматику не дає сигналу готовності, і на пульт надходить пояснювальне повідомлення. Воно вказує конкретну причину: машина поза вихідною позицією; у трайбі бракує дроту; блок обв'язки незаправлений або не піднятий угору; обертова головка стоїть не у вихідному положенні; передній чи задній затиск не зафіксовано; немає сигналу від котрогось із датчиків – вихідного положення машини, місць вв'язування 1–3, нижнього або верхнього положення блоку обв'язки, вихідного положення головки, наявності дроту в трайбі чи завершення заправлення [9].

Далі тумблер «Кількість ув'язувань» установлюють у потрібне положення, а перемикач «Режим роботи» – у положення «Автоматичний». На пульті з'являється повідомлення про вибраний режим, засвічується сигнал «Готова», і система починає відпрацьовувати технологічний цикл. У автоматичному режимі також дозволено коригувати параметри процесу, а для аварійної зупинки слугує кнопка «Стоп» [9].

2.3 Вимоги до надійності

Безвідмовна робота системи має забезпечуватися з імовірністю щонайменше 95 %, тоді як відновлення працездатності триватиме не довше за 30 хвилин [10]. Узагальненою мірою, що поєднує безвідмовність із ремонтпридатністю, править коефіцієнт готовності K_g ; він відображає

здатність системи до відновлення в будь-яку довільну мить роботи з урахуванням режиму керованого об'єкта [10].

За критерій відмови всіх функцій автоматичної системи регулювання прийнято такі значення коефіцієнта готовності K_g :

а) автоматичне керування, якщо враховано надійність датчиків, – $K_g = 0,995$;

б) автоматичне керування без урахування надійності датчиків – $K_g = 0,998$;

в) керування у ручному режимі – $K_g = 0,999$.

2.4 Опис вхідної інформації

Дискретні сигнали. Дискретні сигнали мають бінарний характер і змінюють стан при зміні контрольованого параметра; вони бувають періодичними та неперіодичними [11]. Джерелом дискретних сигналів слугують датчики системи, а також зміни, які вносить оператор кнопками й ключами керування.

За характером впливу на керування дискретні сигнали бувають двох типів – технологічні та аварійні. Технологічні керують черговістю операцій системи протягом процесу, тоді як аварійні з'являються тоді, коли порушено технологічний режим або виникла несправність обладнання [11].

Кожен компонент комплексу отримує потрібну для роботи інформацію в будь-який момент часу з відповідної частини розподіленої бази даних [11].

Інформація ручного введення. Так називають дані, які оператор подає до системи безпосередньо з пульта керування.

2.4.1 Перелік сигналів системи

Опис вхідних сигналів датчиків наведено в табл. 2.1, а вихідних сигналів – у табл. 2.2 [11].

Таблиця 2.1

Перелік вхідних сигналів системи [11]

№	Найменування	Періодичність	Джерело формування сигналу
1	Наявність бунта катанки на місці ув'язки	не частіше 15 с	Датчик наявності гака в точці ув'язки (на металоконструкції конвеєра)

Таблиця 2.2

Перелік вихідних сигналів системи [11]

Найменування	Тип сигналу	Од. вим.	Діапазон	Приймач
Індикація наявності бунта катанки	аналоговий	В	12	Пульт оператора машини
Датчик D1	аналоговий	В	12	Розподільник Р7
Датчик D2	аналоговий	В	12	Розподільник Р6
Датчик D3	аналоговий	В	12	Розподільники Р6, Р5, Р8
Датчик D4	аналоговий	В	12	Розподільники Р1, Р5, Р8, Р7
Датчик D5	аналоговий	В	12	Розподільник Р7
Індикація закінчення процесу ув'язки	аналоговий	В	12	Пульт оператора машини

2.5 Контролер та його характеристики

Як керуючий пристрій обрано програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1500 (DE) – компактний модульний ПЛК із високою продуктивністю, призначений для відповідальних задач автоматизації

середнього й верхнього рівнів [12]. Контролер вирізняється швидкою обробкою програм, розвиненими комунікаційними можливостями та масштабованою конфігурацією, що дає змогу нарощувати кількість каналів введення-виведення відповідно до потреб об'єкта. Загальний вигляд контролера показано на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Загальний вигляд програмованого логічного контролера [12]

Компактні габарити контролера зменшують зайнятий простір у шафі комутаційного обладнання, а розвинені засоби зв'язку забезпечують гнучкість та відкритість системи [12]. Залежно від типу центрального процесора контролер адресує кілька тисяч локальних і дистанційних каналів введення-виведення, тож добре підходить для задач, що потребують середньої та високої продуктивності.

Окремі станції об'єднують у промислові мережі – зокрема PROFINET, Industrial Ethernet та PROFIBUS – і вони взаємодіють між собою, завдяки чому кількість каналів введення-виведення можна збільшувати в рази [12]. Об'єднання можливостей програмованого контролера, персонального комп'ютера й процесора руху дає платформу, що відповідає вимогам широкого кола задач автоматизації.

Основні переваги обраного контролера: значна кількість локальних каналів введення-виведення; модульна архітектура; розвинений набір комунікаційних інтерфейсів; проста інсталяція; єдина системна платформа для всіх конфігурацій; запас обчислювальної потужності для майбутніх застосувань [12]. Для підвищення завадостійкості модулі гальванічно ізольовано від навколишнього середовища, а знімні клемні колодки спрощують монтаж і обслуговування.

Базове шасі. Базове шасі апаратно й програмно об'єднує центральний процесор, блок живлення, вхідні та вихідні модулі, модулі введення-виведення й спеціальні функціональні модулі [12]. Модулі адресуються автоматично, а конфігурацію за потреби змінюють функцією призначення введення-виведення. Шасі кріплять гвинтами на панель або на DIN-рейку, а шасі розширення підключають до базового шинними кабелями. Структуру контролера наведено на рис. 2.3.

Модулі живлення. Модулі живлення подають окремим модулям потрібні напруги; їх вибирають за споживанням енергії модулями системи. Готовність до роботи відображає світлодіод, а діапазон вхідної напруги змінного струму охоплює значення від 100 до 240 В при частоті 50/60 Гц [12].

Процесорні модулі. Випускають їх в одно- та багатопроцесорних варіантах, що дає змогу охопити широке коло задач, а нарощувати потужність системи можна простою заміною процесора. Програмують і відстежують роботу кожного модуля через його інтерфейси, під'єднавши персональний комп'ютер, тоді як вбудована флеш-пам'ять утримує програму без окремих карт. Старші моделі процесорів реалізують каскадне ПІД-регулювання, автоналаштування та довільне число контурів, а також обчислюють тригонометричні, експоненційні й логарифмічні функції [12].

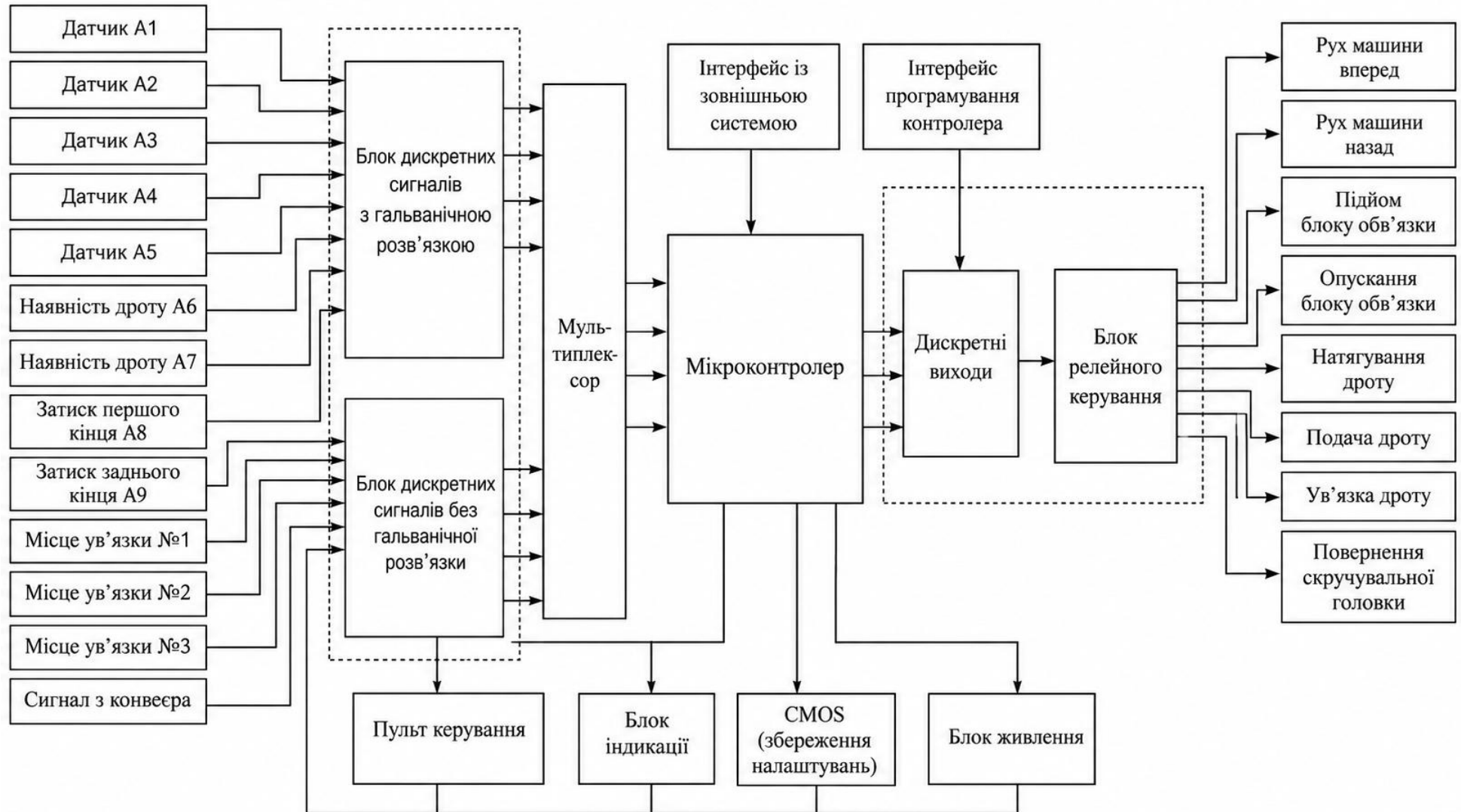


Рис. 2.3. Структура системи керування на базі контролера
(розроблено автором з використанням [12])

Модулі введення-виведення. Вхідні модулі перетворюють цифрові сигнали процесу з різними рівнями напруги у формат, потрібний контролеру; гальванічна розв'язка між процесом і керуванням є стандартною властивістю, а стан входів відображають світлодіоди. Вихідні модулі мають транзисторні, релейні або симісторні ключі для адаптації до різних задач. Модулі аналогового введення перетворюють сигнали тиску, витрати чи рівня в цифрові значення для подальшої обробки процесором. Модулі позиціювання керують кількома осями та забезпечують швидкий синхронний запуск [12].

Структуру взаємодії функціональних блоків контролера ілюструє рис. 2.3.

2.6 Розміщення датчиків та виконавчих пристроїв

Розташування датчиків D1–D5 і гідравлічних виконавчих пристроїв P1–P7 на машині поперечного вв'язування показано на рис. 2.4 [13]. Сигнали датчиків надходять на блок введення-виведення контролера, який формує керуючі команди для гідравлічних виконавчих пристроїв машини.

Функціональна схема (рис. 2.4) демонструє взаємодію датчиків положення з блоком введення-виведення та подальше формування сигналів керування розподільниками P1-P7, що приводять у дію механізми обв'язки, скручування й переміщення машини.

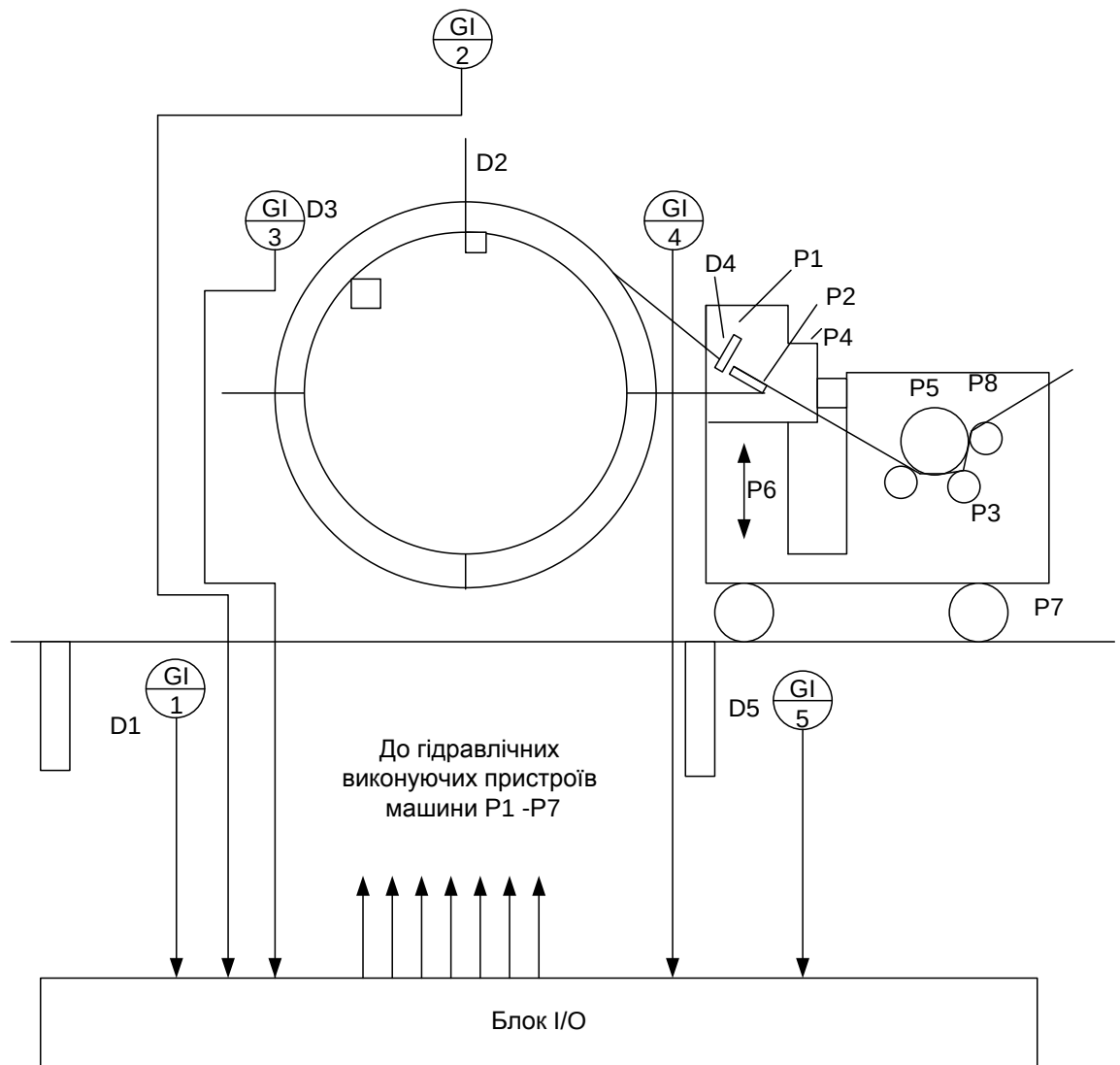


Рис. 2.4. Функціональна схема датчиків на машині [13]

2.7 Мова програмування

Базовою мовою програмування програмованих логічних контролерів залишається мова релейно-контактних схем (LD) [14]. Спершу всі складники обладнання перевизначають у символи, зрозумілі для контролера, оскільки контролер не оперує поняттями «вимикач», «реле» чи «електродвигун», а працює лише із символами входу та виходу.

Для контролера фізична природа входу або виходу не має значення – він обробляє тільки поточний стан входу (увімкнено чи вимкнено), а решту дій

виконує послідовно та строго за закладеним алгоритмом [14]. У мові релейно-контактних схем джерело живлення позначають двома паралельними вертикальними лініями ліворуч і праворуч від діаграми: ліву умовно вважають «плюсом», праву – «мінусом», після чого входам присвоюють відповідні символи.

2.8 Вибір датчиків

Індуктивні датчики наближення широко застосовують у системах промислової автоматики для контролю положення та переміщень механізмів [15]. Вони реагують на введення металу в зону чутливості, вирізняються високою надійністю та безвідмовністю й спрацьовують на всі метали. Бістабільний вихідний сигнал датчика дозволяє безпосередньо керувати реле, електроклапанами та іншими виконавчими елементами або спільно працювати з командоконтролерами [15].

В основі роботи датчика лежить наведення вихрових струмів у металі, який входить у зону чутливості. Породжені струми діють на електромагнітне поле, що його індуктивний контур високочастотного генератора створює перед фронтом датчика. За амплітудою генерованих коливань, яка спадає в міру наближення металу, стежить бар'єрний вузол, і на певній відстані він перемикає вихід датчика [15]. Структурну схему наведено на рис. 2.5.

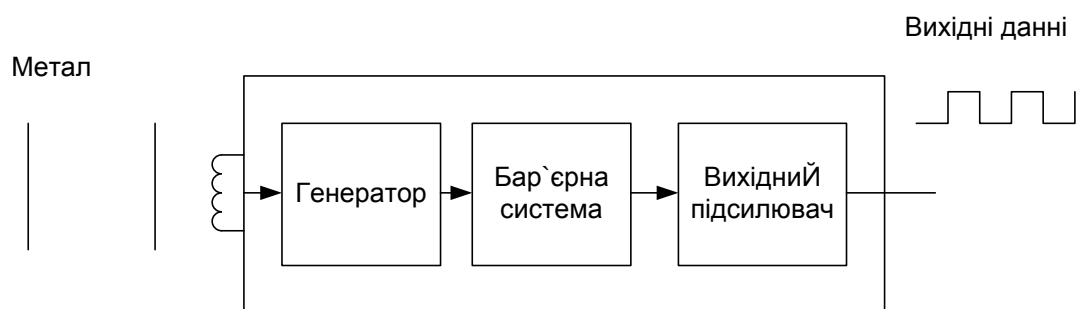


Рис. 2.5. Структурна схема індуктивного датчика [15]

Номінальна зона дії s_n – це відстань від фронту датчика до сталевій пластини (квадрат зі стороною, що дорівнює діаметру корпусу, та товщиною 1 мм), за якої перемикається вихідний ланцюг [15]. Дійсна зона дії s_r окремого датчика для номінальної напруги живлення та температури навколишнього середовища лежить у межах $0,9 \cdot s_n < s_r < 1,1 \cdot s_n$. Робоча зона дії $0 < s_a < 0,8 \cdot s_n$ визначає безпечний діапазон відстані, що гарантує правильну роботу датчика в усьому діапазоні зміни температури й напруги живлення.

Гістерезис $H < 0,2 \cdot s_r$ – це різниця між відстанню наближення та віддалення металу, за якої датчик змінює стан виходу [15]. Вплив металу залежить від його типу: у каталогах наводять номінальну зону s_n для сталі, а для інших металів застосовують поправкові коефіцієнти (хром-нікель – 0,95; латунь – 0,55; алюміній – 0,5; мідь – 0,4). Робочий діапазон температур індуктивних датчиків становить від мінус 25 °C до плюс 70 °C.

Для системи обрано індуктивний датчик наближення IFM Electronic IGB3008 (DE); його зовнішній вигляд показано на рис. 2.6, а технічні характеристики наведено в табл. 2.3 [16].



Рис. 2.6. Зовнішній вигляд індуктивного датчика наближення [16]

Таблиця 2.3

Технічні параметри індуктивного датчика наближення IGB3008 [16]

№	Найменування параметра	Од. вим.	Значення
1	Виробник (країна)	–	IFM Electronic (DE)
2	Габаритний розмір корпусу	мм	M30×40
3	Напруга живлення	В	10...30 (DC)
4	Номінальна відстань спрацювання	мм	10
5	Частота перемикання	кГц	1,5
6	Клас захисту	–	IP67
7	Робочий діапазон температур	°C	–25...+70

Світлодіодний індикатор датчика сигналізує про стан налаштування вихідного ланцюга. Датчики з живленням постійним струмом мають струмовий захист від короткого замикання та перевантаження виходу: захист обмежує вихідний струм, а після зняття перевантаження датчик автоматично повертається в робочий стан [16]. Зведену відомість обраних засобів автоматики наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Зведена відомість засобів автоматики системи [12; 16]

№	Призначення	Модель	Виробник	К-сть, шт.
1	Програмований логічний контролер	SIMATIC S7-1500	Siemens (DE)	1
2	Датчики положення механізмів	IGB3008	IFM Electronic (DE)	5
3	Датчик наявності бунта на конвеєрі	IGB3008	IFM Electronic (DE)	1
4	Панель оператора (HMI)	SIMATIC HMI	Siemens (DE)	1

2.9 Математичне забезпечення системи автоматичного керування

Математичне забезпечення охоплює алгоритми роботи системи керування машиною зав'язки бунтів та обліку готової продукції по дрібносортному цеху; воно визначає методи й алгоритми обробки інформації для задач, поставлених перед системою [17]. Керуючі функції будують за блоково-модульним принципом: алгоритми керування й регулювання компонують та налаштовують типові модулі під конкретні задачі та формують їхню вхідну й вихідну інформацію. Алгоритми керування й контролю розбивають на окремі процедури, які згодом об'єднують у єдиний алгоритм [17].

Система складається з кількох взаємопов'язаних підсистем, головною з яких є підсистема керування пристроями машини зав'язки бунтів. Алгоритм роботи машини зв'язування бунтів наведено на рис. 2.7.

Алгоритм (рис. 2.7) описує повний цикл автоматичного зв'язування: від отримання сигналу про наявність бунта катанки через послідовне відпрацювання затиску кінців дроту, натягу, скручування та повернення головки до зупинки блока обв'язки у верхньому положенні й завершення циклу.

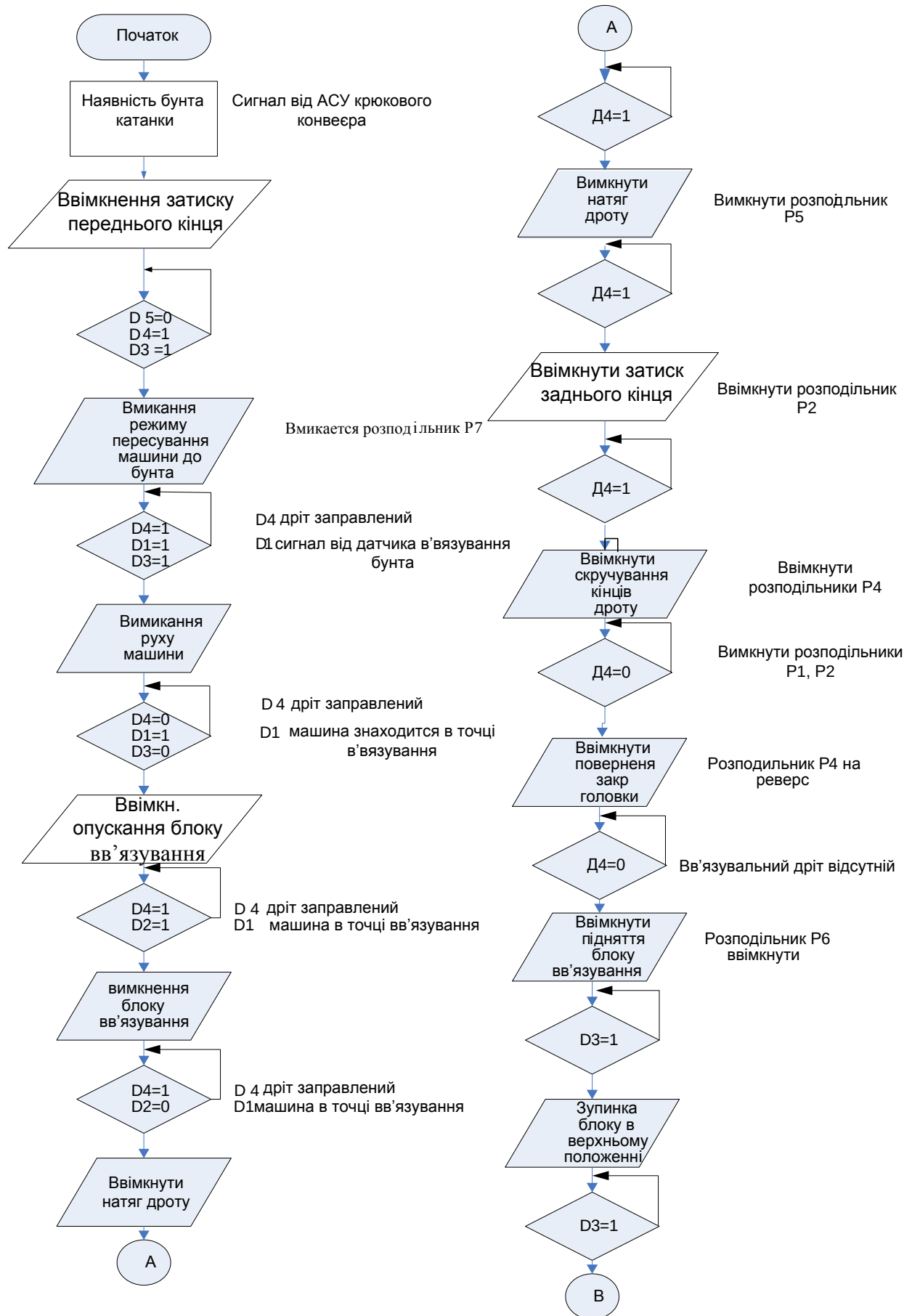


Рис. 2.7. Алгоритм роботи машини зв'язування бунтів, аркуш 1
(розроблено актором з використанням [17])

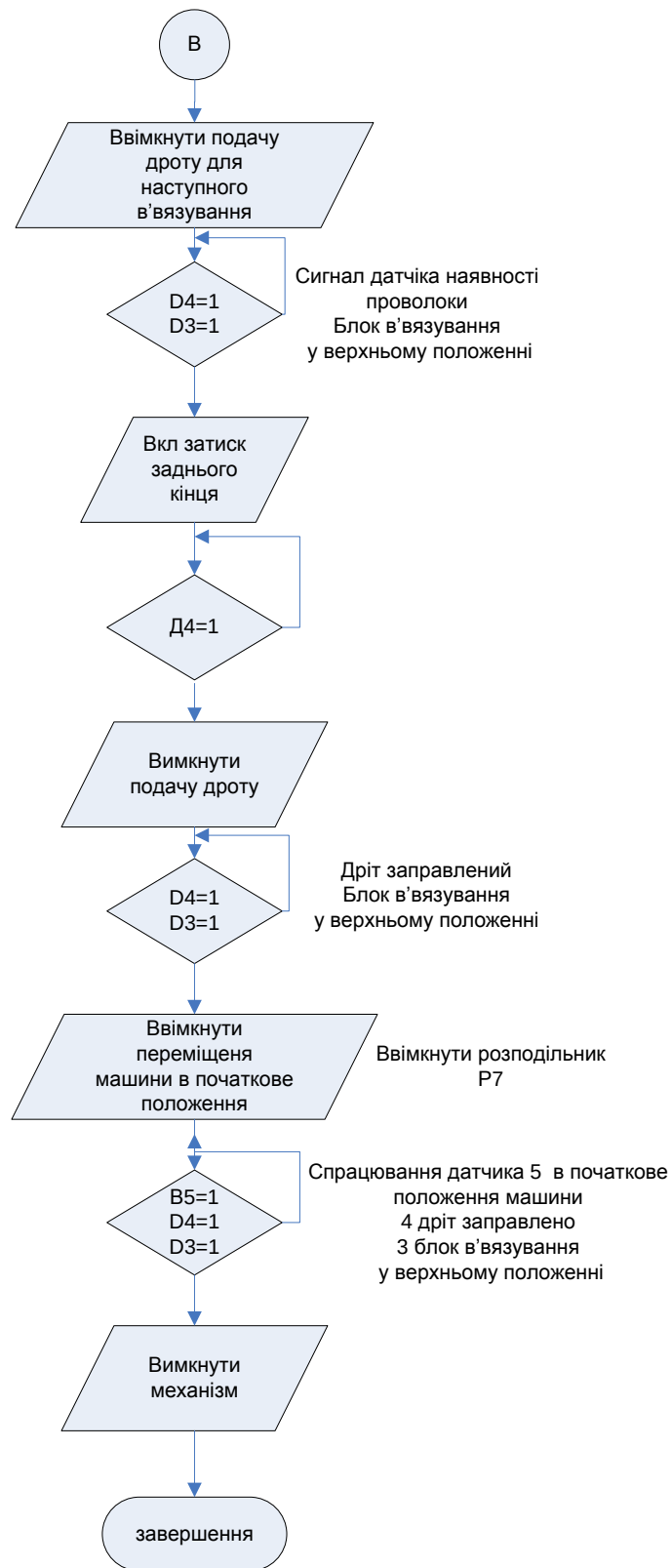


Рис. 2.7., аркуш 2

(розроблено актором з використанням [17])

2.10 Охорона праці

Питання безпечних умов праці регулює окрема галузь трудового права – законодавство про охорону праці [18]. Його підґрунтям слугують нормативно-правові акти, узгоджені з Конституцією України, а державна політика в цій царині виходить із пріоритету людського життя та здоров'я [18]. Проектуючи систему, авторка заклала вільний підхід до обладнання, зручне обслуговування, оперативну й безпечну зміну інструменту, продумане розташування органів керування та захищеність персоналу під час експлуатації й ремонту. Запланований перелік заходів спрямовано на те, щоб усунути або зменшити ризик травм і потрапляння шкідливих речовин у повітря цеху [18].

2.10.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Дрібносортний стан є складним виробничим об'єктом, де поєднано механічне, електричне та підйомно-транспортне устаткування, а його обслуговування неможливе без чіткого дотримання правил безпеки й санітарних норм [19]. До характерних для стану шкідливих чинників належать тепловипромінювання, загазованість, запиленість повітря, шум та вібрація.

Основними небезпечними та шкідливими чинниками на стані є рухомі й обертові частини механізмів, переміщення вантажів, теплове та іонізуюче випромінювання, шум, інфразвук, ультразвук, вібрація, запиленість і загазованість повітря [19]. Прокатні валки, подавальні й напрямні ролики, зубчасті та ланцюгові передачі, ножиці, рольганги й транспортери створюють небезпеку травмування при непередбаченому контакті.

Джерелами інфразвуку на стані виступають нагрівальні колодязі та методичні печі, а також вентиляційні установки, газоочисне обладнання й компресори. Персоналу, який їх обслуговує, рекомендовано раціональний режим праці та відпочинку: кожні дві години – двадцятихвилинна перерва в ізольованому приміщенні [19].

Ультразвук залучають для технологічних та дослідницьких цілей; його енергія, поглинаючись тканинами організму й перетворюючись на теплоту, спричиняє теплову, механічну й кавітаційну дію [20]. Вібрація стану посилюється в міру зростання швидкості обробки металу; за охопленням вона буває загальною або локальною та шкодить нервовій системі, судинам і суглобам [20]. Допустимі рівні вібрації нормують у розрахунку на восьмигодинну зміну [20].

Джерелами іонізуючого випромінювання слугують радіоізотопні прилади контролю, які належать до класу електромагнітних. Конструкція таких приладів захищає персонал від зовнішнього потоку випромінювання, а потужність дози на відстані 1 м не перевищує 0,83 пВт/кг, тож спеціальних вимог до приміщень не висувають [20]. Більша частина електрообладнання прокатних цехів працює при напрузі до 1000 В, проте застосовують і високу напругу 6000 В, що створює джерела електричних та електромагнітних полів [21].

Виробничий шум втомлює слуховий апарат і може спричиняти приглухуватість; він знижує продуктивність праці, збільшує брак та впливає на серцево-судинну й нервову системи [21]. Мікроклімат виробничих приміщень підтримують у межах, що забезпечують нормальну працездатність: оптимальна температура становить від 16 до 25 °С, допустима – від 13 до 25 °С, при важкій фізичній праці максимум сягає 26 °С, а відносна вологість не перевищує 65 % [21].

Запиленість повітря зростає при гарячій прокатці через ламання та дроблення окалини, а загазованість виникає поблизу нагрівальних пристроїв унаслідок використання газового палива [22]. Межі вибуховості природного газу при 20 °С становлять 16,6–102,6 г/м³. Фактичні рівні шуму та вмісту пилу на робочих місцях стану наведено в табл. 2.5 [22].

Таблиця 2.5

Рівні шуму та вмісту пилу на робочих місцях стану [22]

№	Робоче місце	Шум, дБА (ГДР)	Шум, дБА (факт.)	Пил, мг/м ³ (ГДК)	Пил, мг/м ³ (факт.)
1	Біля нагрівальних печей	75	77	6,0	3,3
2	У робочих клітках стану	80	86	6,0	8,9
3	На постах керування	75	75	6,0	2,5
4	На ділянці прибирання прокату	80	91	6,0	8,7

З табл. 2.5 видно, що шкідливі та небезпечні чинники найвищі на ділянці прибирання прокату, де фактичні рівні шуму й запиленості перевищують допустимі значення [22].

2.10.2 Заходи зі зниження шкідливих та небезпечних факторів

Поєднавши оцінку небезпечних і шкідливих чинників з аналізом самого трудового процесу, вдається обґрунтувати дієві захисні заходи [23]. Запиленість і загазованість повітря дієво долає аерація – природне провітрювання: влітку зовнішнє повітря заходить у проліт стану крізь аераційні прорізи в стінах. Від променистого тепла захищають відбивні чи поглинальні екрани, а пости керування й кабіни кранів додатково обладнують кондиціонерами [23].

Інфразвук знижують насамперед у джерелі: під віброактивні агрегати укладають перфоровані основи, а для аеродинамічного інфразвуку застосовують реактивні глушники. Проти вібрації використовують безперервні процеси замість періодичних, віброізоляційні та вібропоглинальні матеріали, якісний монтаж обладнання, динамічні гасителі коливань і зустрічне спарювання двигунів на спільному валу [23].

Для безпечної експлуатації нагрівальних пристроїв після ремонтів і простоїв виконують ретельну перевірку та випробування механізмів на холостому ході; кришки оглядових вікон щільно прилягають до рам, а тиск у

печі підтримують не вище 2,8 мм водяного стовпа [23]. На стані встановлено перехідні містки над обертовими шпинделями та муфтами, діє система бирок, а також звукова й світлова сигналізація небезпеки.

На електроустановках застосовують індивідуальні засоби захисту – діелектричні рукавички, взуття, килимки й доріжки. Рубильники на розподільних щитах закривають захисними кожухами, внутрішньоцехову мережу виконують ізольованими дротами та кабелями, а для безпеки споруджують заземлювальні пристрої, заземлюють корпуси обладнання й застосовують масляні вимикачі та магнітні пускачі [23].

2.10.3 Розрахункова частина

Визначимо кількість теплоти, що надходить у цех через закриту заслінку нагрівальної печі, температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь заслінки, а також оцінимо небезпеку дотику до заслінки незахищеними руками [24]. Вихідні дані: площа заслінки $S = 1,09 \times 0,8$ м; товщина $\delta = 0,12$ м; коефіцієнт теплопровідності матеріалу $\lambda = 0,8$ ккал/(м·год·°C); температура газів усередині печі $T_{\text{вн}} = 1350$ °C; температура повітря в цеху $T_{\text{нар}} = 25$ °C; коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_1 = 120$ та $\alpha_2 = 20$ ккал/(м²·год·°C).

Коефіцієнт теплопередачі заслінки визначаємо за формулою:

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2), \quad (2.1)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні, ккал/(м²·год·°C);

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні, ккал/(м²·год·°C);

δ - товщина заслінки, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу заслінки, ккал/(м·год·°C).

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$k = 1 / (1/120 + 0,12/0,8 + 1/20) = 4,81 \text{ ккал/(м}^2\cdot\text{год}\cdot\text{°C)}. \quad (2.2)$$

Втрати теплоти через одиницю площі заслінки знаходимо за виразом:

$$q = k \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}) = 4,81 \cdot (1350 - 25) = 6373 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}). \quad (2.3)$$

Загальні втрати теплоти через заслінку площею S становлять:

$$Q = q \cdot S = 6373 \cdot 1,09 \cdot 0,8 = 5557 \text{ ккал/год}. \quad (2.4)$$

Температуру внутрішньої поверхні заслінки визначаємо з рівняння тепловіддачі:

$$T_1 = T_{\text{вн}} - q/\alpha_1 = 1350 - 6373/120 = 1297 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.5)$$

Температуру зовнішньої поверхні заслінки знаходимо аналогічно:

$$T_2 = T_{\text{нар}} + q/\alpha_2 = 25 + 6373/20 = 344 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.6)$$

Розрахунок показує, що температура зовнішньої поверхні заслінки висока, тож дотик до неї незахищеними руками спричинить опік; це обґрунтовує необхідність теплозахисних екранів та засобів індивідуального захисту [24].

2.10.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення електрообладнання поста керування машиною виконують відповідно до чинних правил будови електроустановок [25]. Допустимий опір заземлювального пристрою в мережі напругою до 1000 В не повинен перевищувати $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$. Розрахунок виконано для контурного заземлювача з вертикальних стрижневих електродів.

Опір розтіканню струму одиночного вертикального електрода визначаємо за формулою:

$$R_B = (\rho / 2\pi l) \cdot [\ln(2l/d) + 0,5 \cdot \ln((4t+1)/(4t-1))], \quad (2.7)$$

де ρ - питомий опір ґрунту (суглинок), Ом·м;

l - довжина вертикального електрода, м;

d - діаметр електрода, м;

t - відстань від поверхні до середини електрода, м.

Приймаємо $\rho = 100$ Ом·м, $l = 3$ м, $d = 0,012$ м, $t = 2,5$ м. Після підстановки:

$$R_B = (100 / (2 \cdot 3,14 \cdot 3)) \cdot [\ln(6/0,012) + 0,5 \cdot \ln(14,5/9,5)] \approx 31,2 \text{ Ом.} \quad (2.8)$$

Орієнтовну кількість вертикальних електродів визначаємо як:

$$n = R_B / (R_{\text{доп}} \cdot \eta_B) = 31,2 / (4 \cdot 0,72) \approx 11 \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикальних електродів.

Результуючий опір контурного заземлювача з урахуванням з'єднувальної смуги становить:

$$R_K = R_B / (n \cdot \eta_B) = 31,2 / (11 \cdot 0,72) \approx 3,94 \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

Оскільки $R_K = 3,94 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$, умову електробезпеки виконано, а прийнятий заземлювальний пристрій із 11 вертикальних електродів задовольняє вимоги [25].

2.10.5 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди

Працівникам, зайнятим на шкідливих і небезпечних операціях або в умовах забруднення чи несприятливих температур, підприємство безоплатно та за чинними нормами надає спецодяг, спецвзуття й решту засобів індивідуального захисту, а також мийні й знешкоджувальні препарати [26]. Перелік таких засобів охоплює ізолювальні костюми, респіраторні засоби для дихання, захисний спецодяг, захист кінцівок, голови, обличчя й очей, протишумовий захист слуху, спорядження проти падіння з висоти та дерматологічні засоби [26].

Для ділянок з підвищеною температурою спецодяг повинен утримувати захисні властивості до 40 °С. Там, де у повітрі багато пилу, робітникам щозміни видають по одному респіратору, а на гучних ділянках – по парі протишумових вкладок на зміну [26]. Норми забезпечення спецодягом за основними фахами подано в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Норми видачі засобів індивідуального захисту за професіями [26]

№	Професія	ЗІЗ	Норма видачі
1	Вальцювальник стану гарячої прокатки	Костюм бавовняний, чоботи, рукавиці	1 комплект на рік
2	Оператор поста керування	Костюм бавовняний, черевики, рукавиці	1 комплект на рік
3	Прибиральник гарячого металу	Костюм бавовняний, рукавиці брезентові	1 комплект на рік
4	Слюсар з ремонту механічного обладнання	Костюм, черевики, рукавиці	1 комплект на рік
5	Черговий електрик	Костюм, діелектричні рукавички та взуття	1 комплект на рік

Працівники цеху проходять попередні та періодичні медичні огляди у встановлені строки [27]. Оскільки межі будівельного майданчика й кількість штатних одиниць не змінюються, потреби в розширенні санітарно-побутових приміщень немає; цех цілодобово обслуговує здоровпункт [27].

2.10.6 Пожежна безпека

За ступенем пожежної небезпеки стан віднесено до категорії «Г», адже метал тут обробляють негорючим, у гарячому та розжареному стані [28]. Оскільки будівлю споруджено із залізобетону, її матеріали й конструкції є негорючими та мають II ступінь вогнестійкості. Горючі, мастильні й обтиральні матеріали тримають в окремо відведених місцях, облаштованих згідно з протипожежними вимогами [28].

Для сповіщення пожежних підрозділів передбачено телефонний зв'язок та спеціальну пожежну сигналізацію. Уздовж стану розміщено 18 гідрантів із тиском води в магістралі 5–6 атм, біля яких стоять протипожежні щити з інвентарем. У районах чорнової та чистової груп встановлено ящики з піском місткістю 0,5 м³, а на ділянці холодильника змонтовано систему розбризкувальних форсунок [28]. Маслопроводи обладнано автоматичними системами пожежогасіння, а в машзалах розміщено вуглекислотні вогнегасники.

Вимушений рух людей з метою порятунку називають евакуацією; її здійснюють через евакуаційні виходи безпечними маршрутами [28]. Перелік інвентарю та засобів пожежогасіння наведено в табл. 2.7.

Інвентар та засоби пожежогасіння стану [28]

№	Найменування	Од. вим.	Кількість
1	Вогнегасник пінний ВХП-10	шт.	7
2	Вогнегасник вуглекислотний ВВ-2, ВВ-5	шт.	4
3	Відра пожежні	шт.	5
4	Лопати пожежні	шт.	5
5	Багри	шт.	5
6	Ящики з піском	шт.	6
7	Пожежні стволи	шт.	3

2.10.7 Екологія та охорона навколишнього середовища

Під час переносу промислових викидів техногенним потоком матеріалізабруднювачі зазнають трансформації та поширюються на значну відстань від джерела [28]. Стан водного середовища залежить від забруднення атмосфери й ґрунтів, оскільки підземні та поверхневі води гідравлічно пов'язані, тож забруднення одних спричиняє забруднення інших.

Санітарно-захисну зону й територію підприємства озеленюють: зелень захищає від пилу, газів, диму та шуму й освіжає повітря [28]. Площа озеленення становить близько 18 % території, що відповідає санітарним нормам; між санітарно-захисною зоною та житловим районом передбачено смугу деревно-чагарникових насаджень завширшки не менше 50 м. Загалом дотримання нормативів охорони праці та виробничої санітарії контролюють відповідні санітарно-гігієнічні органи, що забезпечує безпечні умови праці й мінімізує вплив виробництва на довкілля [28].

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто автоматичне керування машиною поперечного вв'язування бунтів катанки та проаналізовано вади діючої системи керування, побудованої на релейно-контакторній апаратурі. Установлено, що така апаратура має обмежений ресурс, велику тривалість спрацювання й не забезпечує гнучкого керування технологічними циклами, що знижує надійність роботи пристрою.

Окреслено вимоги до сучасної керуючої системи та під ці критерії дібрано апаратну базу: програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1500 разом із набором індуктивних датчиків наближення IFM Electronic. Побудовано структурну та функціональну схеми автоматизації, які забезпечують роботу в автоматичному й ручному режимах, опитування датчиків і блокування хибних команд оператора.

Для відображення ходу технологічного процесу й можливих несправностей систему керування оснащено рідкокристалічною панеллю оператора з високою контрастністю та читабельністю за будь-якого освітлення. У розділі охорони праці проаналізовано шкідливі та небезпечні чинники, запропоновано заходи їх зниження, виконано розрахунки теплопередачі заслінки печі та захисного заземлення, які підтвердили відповідність прийнятих рішень нормам безпеки.

Застосування запропонованих рішень забезпечує надійніший і безвідмовний режим роботи пристрою поперечного вв'язування бунтів катанки, підвищує продуктивність і знижує аварійність порівняно з діючою системою керування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Большаков В. І., Тубольцев Л. Г. Розвиток металургійного комплексу України: стан і перспективи. Металургійна та гірничорудна промисловість. 2019. № 3. С. 4–12.
2. Грудєв О. П., Машкін Л. Ф., Ханін М. І. Технологія прокатного виробництва : підручник. Київ : Металургія, 2018. 496 с.
3. Дьоміна К. Г. Безперервне лиття заготовок у сортовому виробництві : навч. посібник. Дніпро : НМетАУ, 2017. 184 с.
4. Тимошенко В. І. Автоматизація технологічних процесів прокатного виробництва : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 312 с.
5. Іваненко О. М., Петренко С. В. Системи керування швидкісним режимом безперервної прокатки. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та автоматизація. 2021. № 2. С. 45–53.
6. Технологічна інструкція дрібносоротно-дротового стану ДДС 250/150-6. Кривий Ріг : ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», 2019. 88 с.
7. Керівництво з експлуатації машини поперечного вв'язування бунтів катанки. Кривий Ріг : ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», 2018. 64 с.
8. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електропривод : підручник. Київ : Освіта України, 2017. 656 с.
9. Лукінюк М. В. Автоматизація технологічних процесів : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 232 с.
10. Стенцель Й. І. Надійність систем керування технологічними процесами : навч. посібник. Сєверодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2018. 196 с.
11. Хартлі Р., Шеннон К. Теорія інформації в системах автоматичного керування : пер. з англ. Львів : Львівська політехніка, 2016. 224 с.
12. SIMATIC S7-1500. System Manual : technical documentation. Nuremberg : Siemens AG, 2023. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 28.05.2026).

13. Проектування функціональних схем автоматизації : навч. посібник / за ред. А. К. Бабіченка. Харків : НТУ «ХПІ», 2019. 208 с.
14. Парр Е. Програмовані логічні контролери : посібник інженера : пер. з англ. Київ : Кондор, 2017. 516 с.
15. Хансен Ф. Індуктивні датчики наближення в системах автоматики : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 148 с.
16. Inductive Sensors. Product Catalogue : technical datasheet. Essen : IFM Electronic GmbH, 2023. URL: <https://www.ifm.com> (дата звернення: 28.05.2026).
17. Бодянский С. В. Алгоритмічне та математичне забезпечення систем керування : монографія. Харків : ХНУРЕ, 2018. 264 с.
18. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII (в редакції 2023 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 29.05.2026).
19. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості. Київ : Держгірпромнагляд, 2008. 142 с.
20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Київ : МОЗ України, 1999. 48 с.
21. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 32 с.
22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 24 с.
23. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2019. 384 с.
24. Жидецький В. Ц. Охорона праці користувачів та технічні розрахунки безпеки : навч. посібник. Львів : Афіша, 2018. 320 с.
25. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держнаглядохоронпраці, 2001. 116 с.
26. Наказ Держгірпромнагляду від 16.04.2009 № 62. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів

індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 29.05.2026).

27. Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 29.05.2026).

28. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 41 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-13д-2026ар6

Автор

151-13д-2026ар6

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.О.

ІД документа

334249715

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/10/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

6236

Кількість слів



КЦ

45613

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		4
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		5

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Копія тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://bukvar.sudizka/cage.5.6.1979-Elektrosnabzhenie-aglomeracii-iz-fabrike-metallurgicheskoo-kombinata.html	16 (0.26 %)

ЗГОДА здобувача освіти Державного університету економіки і технологій про
перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Пильов Богдан Олександрович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування пристроєм поперечного вв'язування бунтів катанки в умовах ДДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

01.06.2026.