МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут

Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

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

Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Бондаренка Ярослава Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування режимом підштамповки зливків у валках Блюмінгу 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва теми)

за матеріалами ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг"

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н. _____ Жуков М.С.

(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК
Протокол засідання кафедри
від 16.06.2026р. № 397-ст
Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н. Є.О. Модло

Наук. ступень, вчене звання *Ініціали, прізвище*

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

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Бондаренка Ярослава Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи: Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування режимом підштамповки зливків у валках Блюмінгу 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник випускної роботи Жуков Микола Степанович, 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 розробки - система автоматичного керування режимом підштамповки зливків у валках Блюмінгу 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; тип стану - реверсивний одноклітєвий; маса злитків - до 9,5 т; діаметр валків - 1180-1300 мм; двигуни натискного пристрою - МПВ 640-700 (640 кВт, 700 об/хв), 2 шт.; передавальне число редуктора - 3,08; швидкість переміщення гвинтів - 220 мм/с; час підштамповки - 0,7 с; точність зупинки - ±0,5 мм; роздільна здатність енкодера - 0,5 мм; контролер - одноплатний спеціалізований; енкодери - абсолютні багатооборотні RD58S10; фотореле - ФРСУ; блок гальванічної розв'язки - БГР; блок живлення - 20ДП; інтерфейс зв'язку - RS-485.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити. 4.1 Аналітична частина: призначення та будова натискного пристрою блюмінга 1300; аналіз існуючої системи автоматичного регулювання та її недоліки; технологія та склад обладнання обтискної кліті 1300; аналіз технологічних особливостей роботи обладнання; постановка задачі. 4.2 Основна частина: структура та принцип функціонування системи автоматичного управління режимом підштамповки; вимоги до датчиків системи - енкодерів Е1, Е2, Е3, фотореле та шунтів вимірювання струму; алгоритми визначення довжини розкату, швидкості валка та моменту підштамповки; вибір та обґрунтування технічних засобів системи; блок-схема алгоритму управління режимом підштамповки; розрахунок захисного заземлення шафи керування; заходи з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ВРБ.174.239-ст.02.К1 - Кінематична схема натискного пристрою з вантажним урівноваженням; ВРБ.174.239-ст.02.Е1 - Структурна схема системи автоматичного управління режимом підштамповки; ВРБ.174.239-ст.02.Е0.1 - Алгоритм управління режимом підштамповки; ВРБ.174.239-ст.02.Е0.2 - Графіки режиму підштамповки

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Жуков М.С.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Жуков М.С.	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 _____ Бондаренко Я.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Жуков М.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	А3	*ВРБ.174.239-ст.02.К1*	Кінематична схема	1		
2			натискного пристрою з			
3			вантажним			
4			урівноваженням			
5						
6	А3	*ВРБ.174.239-ст.02.Е1*	Структурна схема	1		
7			системи автоматичного			
8			управління режимом			
9			підштамповки			
10						
11	А3	*ВРБ.174.239-ст.02.Е0.1*	Алгоритм управління	1		
12			режимом підштамповки			
13						
14	А3	*ВРБ.174.239-ст.02.Е0.2*	Графіки режиму	1		
15			підштамповки			
16						
17	А4	*ВРБ.174.239-ст.02.ПЗ*	Пояснювальна записка	48		
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

					ВРБ.174.239-ст.02.ВР			
Зм.	*Арк.*	*№ документа*	*Підпис*	*Дата*				
Розроб.		*Бондаренко Я.Д.*			*Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування режимом підштамповки зливків у валках Блюмінгу 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».*	*Літера*	*Аркуш*	*Аркушів*
Пров.		*Жуков М.С.*					*4*	*1*
Н.контр.		*Жуков М.С.*				*ННТІ ДУЕТ*		
Затв.		*Модло Є.О.*			***Відомість роботи***	*Каф.ЕІА*		
						гр. АВ-23ск		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 48 сторінок, 2 розділи, 16 таблиць, 8 рисунків, 15 джерел.

Об’єкт дослідження – натискний пристрій реверсивного прокатного стану 1300.

Предмет дослідження – система автоматичного управління (САУ) режимом підштамповки на базі спеціалізованого одноплатного контролера.

Мета роботи – розроблення алгоритмів, технічних вимог до засобів та структури САУ режимом підштамповки, що забезпечує покращення умов захоплення злитка валками в наступному пропуску без неприпустимих перевантажень обладнання.

У першому розділі проаналізовано призначення та будову натискного пристрою блюмінга, описано наявну систему автоматичного регулювання, наведено склад та технічні характеристики обладнання обтискної кліті 1300.

У другому розділі розроблено структуру та алгоритм функціонування САУ, визначено вимоги до датчиків, виконано вибір та обґрунтування технічних засобів: одноплатного контролера, абсолютних багатооборотних енкодерів, фотореле та блоків гальванічної розв'язки. Описано блок-схему алгоритму управління режимом підштамповки.

Практичне значення роботи: реалізація запропонованої системи дозволяє оптимізувати момент подачі команди на переміщення натискного пристрою, зменшити знос обладнання та підвищити стабільність технологічного процесу прокатки.

Ключові слова: алгоритм управління, блок гальванічної розв'язки, енкодер абсолютний, контролер одноплатний, натискний пристрій, обтискна кліть, підштамповка, прокатний стан, система автоматичного управління, фотореле.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 10
1.1 Призначення та будова натискного пристрою 10
1.2 Аналіз існуючої системи автоматичного регулювання 13
1.3 Технологія та склад обладнання обтискної кліті 1300 14
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА 20
2.1 Структура та принцип функціонування системи 20
2.2 Вимоги до датчиків системи 26
2.2.1 Енкодер Е3 27
2.2.2 Енкодери Е1 та Е2 28
2.2.3 Вимірювання струмів якорів двигунів 28
2.2.4 Фотореле 29
2.3 Алгоритми роботи 29
2.4 Вибір технічних засобів системи 34
2.4.1 Одноплатний контролер 34
2.4.2 Абсолютний багатооборотний енкодер RD58S10 [3] 35
2.4.3 Фотореле ФРСУ [4] 36
2.4.4 Блок гальванічної розв'язки БГР для сигналів із шунтів [5] 37
2.4.5 Блок гальванічної розв'язки БГР для сигналів завдань операторів і сигналів із шунтів [5] 38
2.4.6 Блок живлення 20 ДП [5] 38
2.5 Блок-схема алгоритму управління режимом підштамповки 39
2.6 Охорона праці та безпека при експлуатації системи автоматичного управління режимом підштамповки 41
2.6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів 42
2.6.2 Заходи з усунення небезпечних факторів 43
2.6.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди 44
2.6.4 Розрахунок захисного заземлення шафи керування САУ НП 45
2.6.5 Пожежна безпека 46

2.6.6 Висновки з охорони праці 46
ВИСНОВКИ 47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 48

ВСТУП

Умови захоплення злитка валками блюмінга визначаються співвідношенням лінійної швидкості валків стану, швидкості злитка (розкату), відстанню між валками (розчином валків), температурою та маркою сталі. Визначальними параметрами є швидкісний режим і обтиск розкату. З цією метою прагнуть створити сприятливі умови захоплення шляхом зменшення висоти розкату під час його виходу з валків кліті. Цього досягають увімкненням натискного пристрою (НП) на останніх сантиметрах прокатки, тобто стисненням кінця злитка, що покращує його захоплення в наступному пропуску. Такий режим отримав назву «підштамповка». Він спричиняє додаткове навантаження на механічне та електричне обладнання прокатної кліті. Проте якщо підштамповка виконується на самому кінці злитка, перевантаження не є критичними, а ефект від неї є позитивним [1].

У ручному режимі управління неможливо оптимально визначити момент увімкнення НП. Експериментальні дослідження виявили, що в ручному режимі виникають неприпустимі перевантаження. Розроблялися дослідні зразки пристроїв, які регламентували роботу НП у цьому режимі. Оператор міг подавати завдання на переміщення НП вниз у будь-який момент після захоплення злитка валками, а пристрій регламентації передавав це завдання до системи управління електроприводу НП лише в необхідні моменти часу. Однак через обмежені можливості тогочасних технічних засобів реалізувати алгоритми в повному обсязі було складно, тому такі пристрої виявилися малоефективними [2].

На сучасному етапі перед обтискними станами стоять завдання покращення технологічного процесу прокатки, підвищення якості металу, зниження зносу обладнання та зменшення енергоспоживання. Створення умов кращого захоплення злитка сприяє вирішенню цих завдань. Тому доцільно розглянути можливість реалізації режиму підштамповки з використанням

можливостей сучасної мікропроцесорної елементної бази та новітніх інформаційних технологій.

Метою роботи є розроблення структури, алгоритмів функціонування та технічних вимог до засобів системи автоматичного управління (САУ) режимом підштамповки прокатного стану 1300.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання: аналіз конструкції та режимів роботи натискного пристрою; розроблення алгоритму управління режимом підштамповки; обґрунтування вибору технічних засобів системи (контролер, енкодери, фотореле, блоки гальванічної розв'язки); формування вимог до датчиків та інтерфейсів системи.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення та будова натискного пристрою

Необхідний розчин між валками робочої кліті блюмінга встановлюється переміщенням верхнього валка у вертикальній площині. Механізм, за допомогою якого здійснюється це переміщення, називається натискним пристроєм. На блюмінгах застосовується швидкохідний натискний пристрій із приводом від двох вертикальних електродвигунів [1].

Натискні гвинти закриті телескопічними кожухами, що захищає їх від окалини та пилу. Гвинти, обертаючись у гайках, виконують зворотно-поступальний рух.

У місці з'єднання натискного гвинта з корпусом верхньої подушки встановлено вузол підп'ятника. Подушки верхнього валка вільно заводяться в корпуси та в такому положенні утримуються спеціальним механізмом – пристроєм урівноваження верхнього валка. Наявність цього пристрою зумовлена необхідністю постійного вибирання зазорів у парах: натискний гвинт – гайка; натискний гвинт – підп'ятник; шийка валка – верхній вкладиш подушки в напрямку сил, що діють під час прокатки металу. Для вибирання цих зазорів і постійного підтиску валка до натискних гвинтів застосовується гідравлічне урівноваження верхнього валка.

Кінематику натискного пристрою наведено на рис. 1.1, де розшифровано умовні позначення. Детальну технічну характеристику натискного пристрою наведено в табл. 1.1.

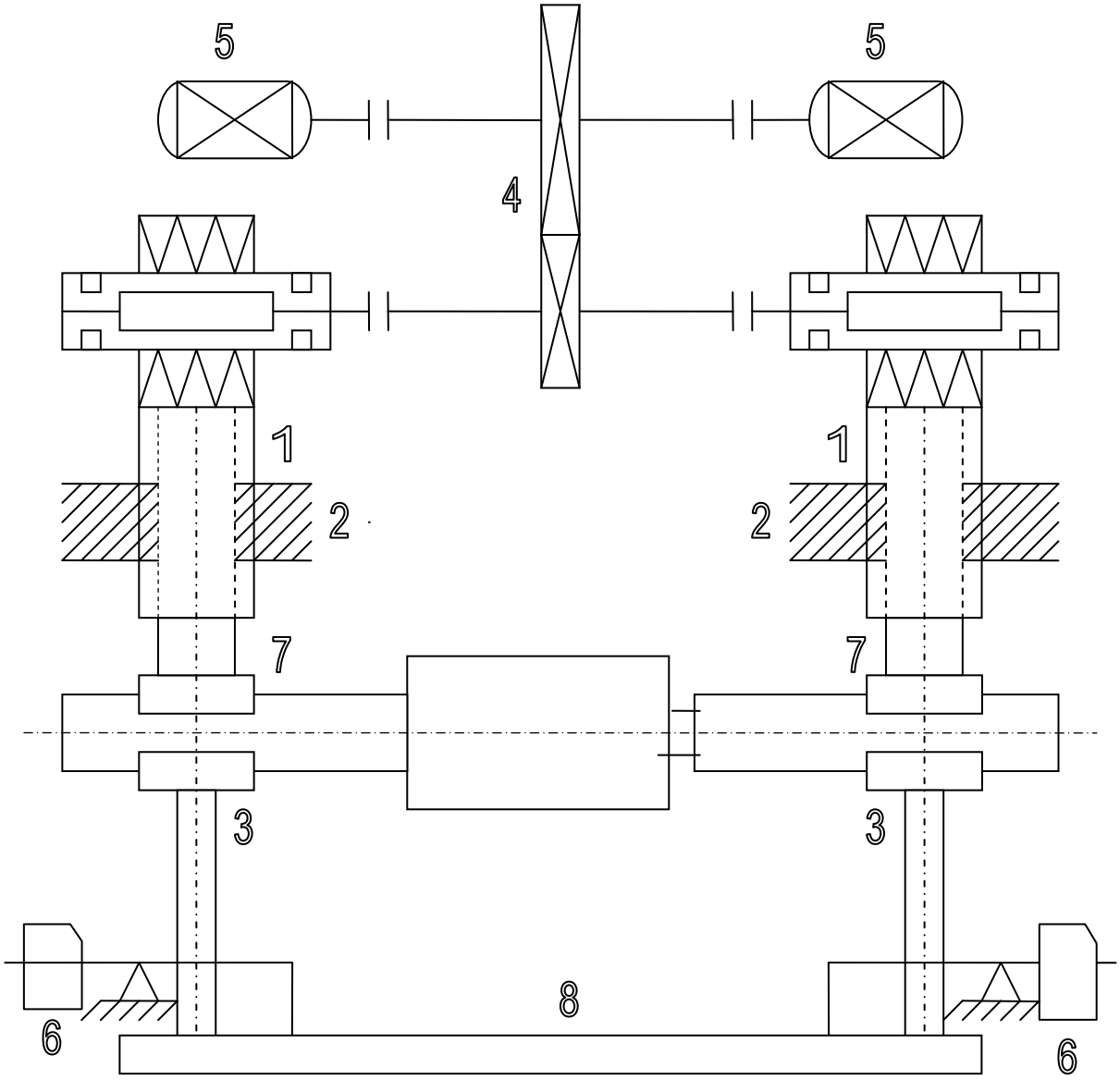


Рис. 1.1. Кінематична схема натискного пристрою з вантажним урівноваженням:

1 – натискний гвинт; 2 – гайка натискного гвинта; 3 – подушка валка; 4 – редуктор; 5 – двигун; 6 – вантажі; 7 – подушки валка; 8 – траверса

Джерело: [1]

Таблиця 1.1

Технічна характеристика натискного пристрою [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Кількість натискних гвинтів	–	2
2	Різьба гвинтової пари (натискний гвинт, гайка)	мм	уп. 560×48
3	Крок різьби натискного гвинта, h	мм	48
4	Максимальний хід гвинта, Sмакс	мм	1200
5	Робочий хід гвинта, Sроб	мм	1150
6	Середнє переміщення гвинтів за одне вмикання, S	мм	100
7	Швидкість переміщення гвинтів, Vм	мм/с	220
8	Похибка встановлення, δ	мм	±0,5
9	Передатне число редуктора, і	–	3,08
10	Момент інерції механізму, J	кг·м²	450
11	Статичний момент на валу при опусканні гвинта, Мст1	Н·м	6400
12	Статичний момент на валу при підйомі гвинта, Мст2	Н·м	4850
13	К.К.Д. механізму, η	–	0,8
14	Час підштамповки, tпідшт	с	0,7
15	Час циклу, tц	с	70

Натискні пристрої реверсивних обтискних станів (блюмінгів, слябінгів, товсто- і середньолистових та ін.) працюють у напруженому режимі з великою кількістю вмикань на годину (1000-1500), тривалість вмикання досягає 50-60 %. Підвищення інтенсивності прокатки на реверсивних станах зумовлює необхідність скорочення часу пауз, яке в більшості випадків визначається часом роботи натискного пристрою [1].

Загальна характеристика електроприводу натискного пристрою:

– привод постійного струму за схемою ТП-Д;

– діапазон регулювання швидкості натискних гвинтів D = 200÷1;

– потужність двигунів 400-700 кВт;

– прискорення та сповільнення переміщення верхнього валка доведено до 250 мм/с²;

– максимальна швидкість переміщення валка до 0,2 м/с;

– точність зупинки валка ±1÷2 мм;

– передатне число редуктора 4-6.

1.2 Аналіз існуючої системи автоматичного регулювання

Наявна система автоматичного управління НП є локальною; управління здійснюється вручну оператором. Режим «підштамповки» також виконувався вручну на розсуд оператора, тобто оператор самостійно вирішував, коли штампувати злиток, а САУ лише видавала сигнал заборони або дозволу на «підштамповку». При цьому не виключалися ситуації, коли оператор виконував «підштамповку» у разі, коли вона не була потрібна, наприклад перед кантуванням, що могло погіршити захоплення злитка в наступному пропуску і спровокувати буксування.

Проєктована САУ НП на першому етапі експлуатації працюватиме також як локальна система. Однак у процесі подальшої роботи, з урахуванням автоматизації всього цеху, її буде підключено до підсистеми стеження за технологічним процесом АСУ ТП цеху. Це дозволить скоригувати алгоритм управління режимом «підштамповки» з урахуванням оперативної інформації про параметри злитка, що прокатується: марку сталі, температуру, кінцевий перетин, кількість пропусків. Оператор подаватиме завдання на «підштамповку» та регулюватиме розчин валків, а САУ НП контролюватиме правильність дій оператора й перешкоджатиме виконанню некоректних дій [2].

1.3 Технологія та склад обладнання обтискної кліті 1300

Нижче наведено основні відомості про призначення та склад обладнання стану 1300.

Стан 1300 призначений для прокатки сталевих злитків масою до 9,5 т на заготовки великих розмірів – блюми та сляби. Стан – реверсивний одноклітьовий.

Робоча кліть складається з таких вузлів:

– валки;

– вузол станин;

– вузол подушок;

– урівноважуючий пристрій;

– натискний пристрій;

– покажчик розчину валків;

– станинні ролики;

– пристрій для перевалки валків.

Коротка характеристика робочих валків

Таблиця 1.2

Технічні характеристики робочих валків стану 1300 [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	2	3	4
1	Кількість	шт	2
2	Маса одного некаліброваного валка	кг	33 000
3	Максимальний діаметр бочки (по буртах)	мм	1 300
4	Мінімальний діаметр бочки (по буртах)	мм	1 180
5	Довжина бочки валка	мм	2 800

Продовження табл.1.2

1	2	3	4
6	Діаметр шийки валка	мм	750
7	Матеріал валка	–	50ХН
8	Охолодження валків	–	водяне
9	Загальна довжина з лопастю і трефом	мм	5825±5
10	Довжина шийки	мм	965

Як виняток допускається використання валків діаметром 1165 мм за таких умов: рівень бочки нижнього валка необхідно встановити на позначку +942 мм (замість прокатної +935±1 мм); діаметри верхнього та нижнього валків однакові. Підшипники – текстолітові, змащуються та охолоджуються водою, додатково змащуються густим мастилом.

Вузол станин

Таблиця 1.3

Технічні характеристики вузла станин [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Кількість	шт	2
2	Матеріал	–	35Л
3	Перетин поперечини станини	мм	460×530
4	Ширина просвіту у верхній частині станини	мм	1 400
5	Ширина просвіту в нижній частині станини	мм	1 200

Урівноважуючий пристрій

Урівноважуючий пристрій призначений для урівноваження ваги верхнього валка у зборі з подушками (полегшує роботу натискних пристроїв, дозволяє зробити їх швидкохідними, та вибирає люфти між деталями від буклі подушки до станини). Переміщенням контрвантажів регулюється ступінь переурівноваження верхнього валка у зборі з подушками, корпусами та натискними гвинтами з гайками. Пристрій вантажний від двох вантажів масою 32,6 т кожний. Зусилля переурівноваження – 5 т.

Натискний пристрій

Натискний пристрій призначений для встановлення необхідного зазору між валками.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики натискного пристрою кліті 1300 [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Кількість	шт	1
2	Кількість натискних гвинтів	шт	2
3	Привод натискного пристрою	–	електричний
4	Матеріал натискних гвинтів	–	сталь 50
5	Робочий хід гвинта	мм	1 150
6	Поступальна швидкість гвинта	мм/с	185
Привод натискних гвинтів – 2 електродвигуни вертикального виконання (МПВ 640-700, 640 кВт, 700 об/хв).			

Станинні ролики

Таблиця 1.5

Технічні характеристики станинних роликів [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Кількість	шт	4
2	Діаметр станинного ролика	мм	500
3	Довжина бочки	мм	2 800
4	Крок ролика	мм	820
5	Окружна швидкість на бочці	м/с	3,9
Привод – індивідуальний від двигунів (ДП-92, 135 кВт, 470/153 об/хв, 100% ПВ).			

Пристрій для перевалки валків

Призначений для заміни валків у кліті. На візок, що є з'єднаними між собою за допомогою траверси корпусами подушок, встановлюються підготовлені валки, які потім всуваються в кліть механізмом перевалки. Знімання та встановлення комплекту валків з подушками здійснюється за допомогою траверси вантажопідйомністю 100 т, із захопленнями, що входять у спеціальні пази нижніх подушок.

Таблиця 1.6

Технічні характеристики пристрою для перевалки валків [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Кількість	шт	1
2	Швидкість пересування візка	м/с	0,051
3	Маса переміщуваного комплекту валків, подушок та піддонів	т	100
4	Максимальне зусилля тяги	т	30
Електродвигун змінного струму МТКМ-4128, 16 кВт, 700 об/хв, 380 В, 40% ПВ.			

Шпиндельне з'єднання та встановлення головного приводу

Шпиндельне з'єднання призначене для передачі крутного моменту валкам робочої кліті від головного приводу. Шпиндель є цільнокованим валом, на який з боку робочої кліті насаджена вилка. У розточенні вилки встановлені бронзові вкладки ковзання. Між вкладками розташований сухар. З боку головного приводу на вал насаджено вилку універсального шарніра на підшипниках кочення. З муфтами головного приводу шпинделі з'єднані за допомогою вузла кріплення напівмуфт. Конструкція передбачає сприйняття осьових навантажень завзятим підшипником електродвигуна головного приводу.

Таблиця 1.7

Технічні характеристики шпиндельного з'єднання [1]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Діаметр тіла універсального шпинделя	мм	580
2	Діаметр головки шпинделя з боку стану	мм	1150
3	Діаметр головки шпинделя з боку приводу	мм	1780
4	Відстань між осями шарнірів шпинделя	мм	1745
5	Маса одного шпинделя у зборі	т	58,66
6	Урівноважування верхнього шпинделя	–	вантажне
7	Урівноважування нижнього шпинделя	–	пружинне

Маніпулятор з кантувачем

Маніпулятор є комплексом механізмів, призначених для точного спрямування розкату під час виходу та входу в калібри робочих валків, переміщення розкату від одного калібру до іншого, правки вигнутого розкату. Кантувач призначений для повороту розкату або злитка навколо своєї поздовжньої осі на 90°. Привод – 2 електродвигуни типу ПС-20-95-5к, 610 кВт,

35 об/хв. При зведенні лінійок маніпулятора між штовхаючою та тягнучою лінійками за станом повинен залишатися зазор не менше 60 мм.

1.4 Аналіз технологічних особливостей роботи обладнання кліті 1300

З урахуванням наведених технічних характеристик обладнання (табл. 1.2–1.7) можна зробити такі висновки щодо реалізації режиму підштамповки:

– Велика інерційність натискного пристрою (момент інерції 450 кг·м²) та обмежений час підштамповки (0,7 с) вимагають високої швидкодії системи керування.

– Наявність текстолітових підшипників та водяного охолодження валків обмежує допустимі пікові навантаження, тому неприпустимі перевантаження в режимі підштамповки мають бути виключені.

– Індивідуальний привод станинних роликів та маніпулятора з кантувачем створює передумови для автоматичного визначення номера пропуску та заборони підштамповки під час кантування.

Таким чином, існуюче обладнання кліті 1300 дозволяє технічно реалізувати САУ режимом підштамповки за умови використання достатньо швидкодійних засобів автоматизації та точної координації з іншими механізмами.

Висновки до розділу 1

У розділі 1 виконано аналіз конструкції та технічних характеристик натискного пристрою блюмінга 1300, розглянуто існуючу систему автоматичного регулювання, виявлено її недоліки (відсутність автоматичного визначення моменту підштамповки, ризик перевантажень). На основі аналізу складу обладнання обтискної кліті визначено технічні обмеження та вимоги до швидкодії проектованої САУ. Це дозволяє перейти до розроблення структури, алгоритмів та вибору технічних засобів у розділі 2.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Структура та принцип функціонування системи

САУ НП отримує та обробляє сигнали від датчиків, що характеризують стан технологічного процесу прокатки. На підставі аналізу цих сигналів контролер визначає момент часу, в який необхідно видати команду на переміщення натискного пристрою в режимі підштамповки [2].

Кожен з рольгангів за командами оператора переміщується вниз або вгору на потрібну відстань. За сигналами ФР1 і ФР2 контролер визначає швидкість Vp та довжину Lp розкату (рис. 2.1).

$$Vp = S / (tп2 – tп1) \quad (2.1)$$

де S – відстань між фотореле, м;

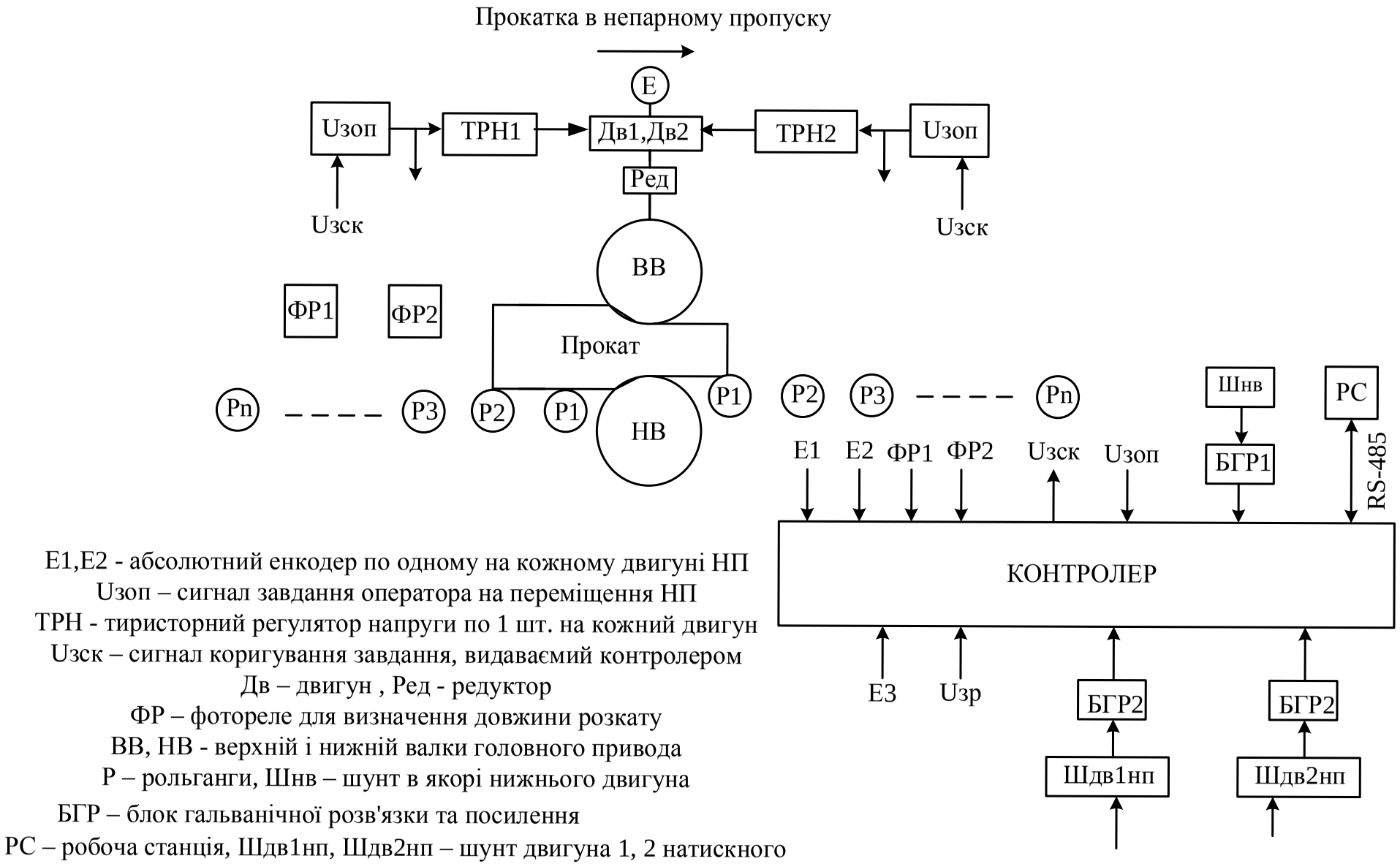
tп2, tп1 – моменти часу появи переднього кінця розкату у зоні видимості ФР2 і ФР1 відповідно, с.

$$Lp = Vp \times (ti1 – tп1) \quad (2.2)$$

де Vp – швидкість розкату із (2.1), м/с;

ti1, tп2 – моменти зникнення та появи переднього кінця розкату у зоні видимості ФР1, с.

Фотореле ФР3 і ФР4 обслуговуються контролером за умовами (2.1) і (2.2) у парних пропусках. За сигналами абсолютних енкодерів контролер визначає положення та швидкість переміщення верхнього валка [3]. Максимальне переміщення верхнього валка – 800 мм; роздільна здатність енкодера – 0,5 мм.



Е1,Е2 - абсолютний енкодер по одному на кожному двигуні НП
Uзоп – сигнал завдання оператора на переміщення НП
ТРН - тиристорний регулятор напруги по 1 шт. на кожний двигун
Uзск – сигнал коригування завдання, видаваємий контролером
Дв – двигун , Ред - редуктор
ФР – фотореле для визначення довжини розкату
ВВ, НВ - верхній і нижній валки головного привода
Р – рольганги, Шнв – шунт в якорі нижнього двигуна
БГР – блок гальванічної розв'язки та посилення
РС – робоча станція, Шдв1нп, Шдв2нп – шунт двигуна 1, 2 натискного пристрою
Е3 – енкодер на валу нижнього двигуна головного привода

Рис. 2.1. Структурна схема системи автоматичного управління режимом підштамповки

(розроблено автором)

Положення верхнього валка визначається за показаннями енкодера, а швидкість Vвв – шляхом розв'язання виразу (2.3):

$$Vвв = 1,5 / (t3 – t1) \quad (2.3)$$

де t3 – момент приходу третього імпульсу від молодшого розряду енкодера, с;

t1 – момент приходу першого імпульсу від молодшого розряду енкодера, с.

При появі сигналу завдання від оператора Uзоп контролер знімає сигнал коригування Uзск. За сигналами від шунта в якорі двигуна головного приводу нижнього валка Шнв контролер визначає поточну довжину розкату в кожному пропуску, прогнозує його кінцеву довжину та видає сигнал на переміщення верхнього валка. Для визначення поточної довжини розкату використовується шунт нижнього двигуна, оскільки він при прокатці буксує значно рідше, ніж верхній.

Визначення поточної довжини розкату (Lтдр) виконується у декілька послідовних кроків. По-перше, за струмом якоря нижнього двигуна визначається факт наявності металу у валках. Якщо Iя ≥ К1, то формується ознака α1 – метал у валках, фіксується цей момент часу (t1) та знімаються показники Е3, які запам'ятовуються в α2:

$$\alpha1 = 1, \text{ при } Iя \geq K1 \quad (2.4)$$

де Iя – струм якоря нижнього двигуна, А;

К1 – задана порогова константа, А.

При падінні струму до заданої величини К2 знімаються показники Е3, запам'ятовуються в α3, фіксується момент (t2) і перевіряються умови:

$$\left.\begin{array}{l}\alpha 3 - \alpha 2 \geq K3\\ t2 - t1 \geq K4\end{array}\right| \qquad (2.5)$$

де К1-К4 – задані сталі коефіцієнти.

Інформація із шунтів Шдв1нп і Шдв2нп використовується таким чином. Якщо після видачі контролером сигналу на рух НП «Вниз» (підштамповка) виконується умова (2.6), контролер знімає сигнал на переміщення натискного пристрою:

$$Iдв1нп \text{ або } Iдв2нп \geq K5 \qquad (2.6)$$

де Iдв1нп, Iдв2нп – виміряні миттєві значення струмів, А;

К5 – заданий коефіцієнт.

Вимірювання довжини прокату (Lпр) в кожному пропуску виконується за виразом (2.7):

$$Lпр = Е3тв - Е3тз \qquad (2.7)$$

де Е3тв, Е3тз – показники енкодера Е3 у моменти виходу та захоплення прокату.

Оскільки момент переходу показань Е3 через нуль є випадковим, у контролері організовується видача сигналу переривання (рис. 2.3), і визначення Lпр у цьому разі виконується за (2.8):

$$Lпр = (Ек - Е3тз) + Е3тв \qquad (2.8)$$

де Ек – максимальні показання Е3 у момент переходу через нуль.

Далі розглядаються умови видачі контролером сигналу на переміщення верхнього валка натискним пристроєм у момент часу, близький до викиду прокату:

$$Lпр - Lтек = K5 \qquad (2.9)$$

де Lпр – прогнозована довжина розкату в поточному пропуску, м;

Lтек – виміряна у і-й момент часу поточна довжина прокату, м;

K5 – коефіцієнт, при досягненні якого видається сигнал на підштамповку.

$$Lпр = Lпред \times K6 \qquad (2.10)$$

де Lпред – фактична довжина розкату в попередньому пропуску, м;

K6 – коефіцієнт витяжки металу в поточному пропуску.

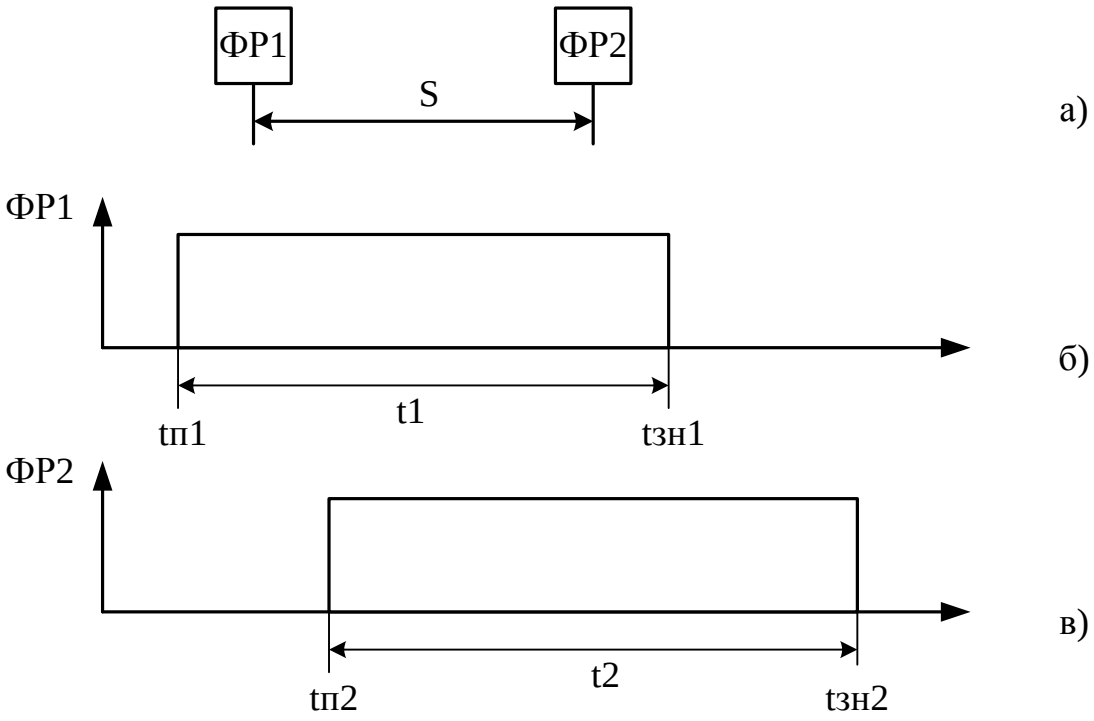


Рис.2.2. До визначення швидкості розката
(розроблено автором)

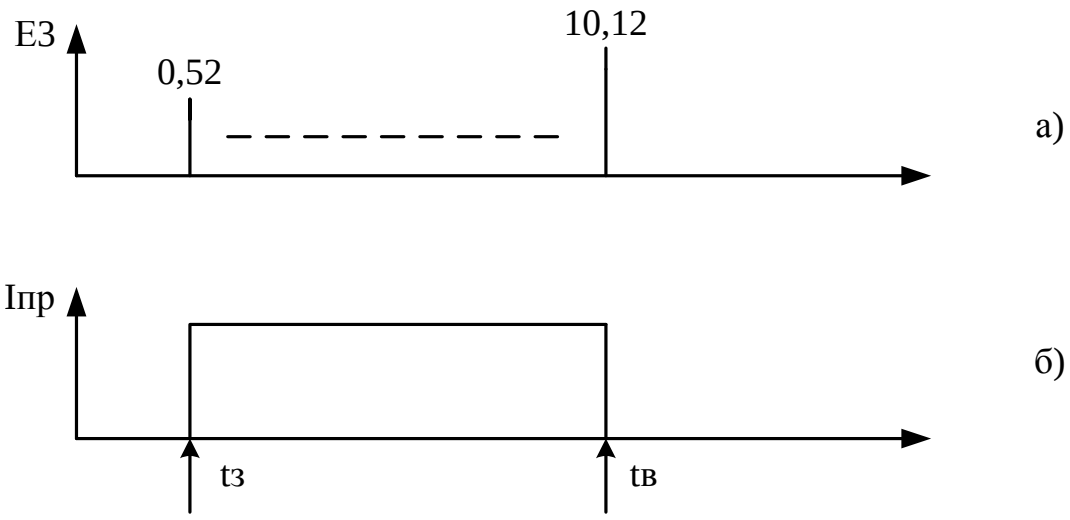
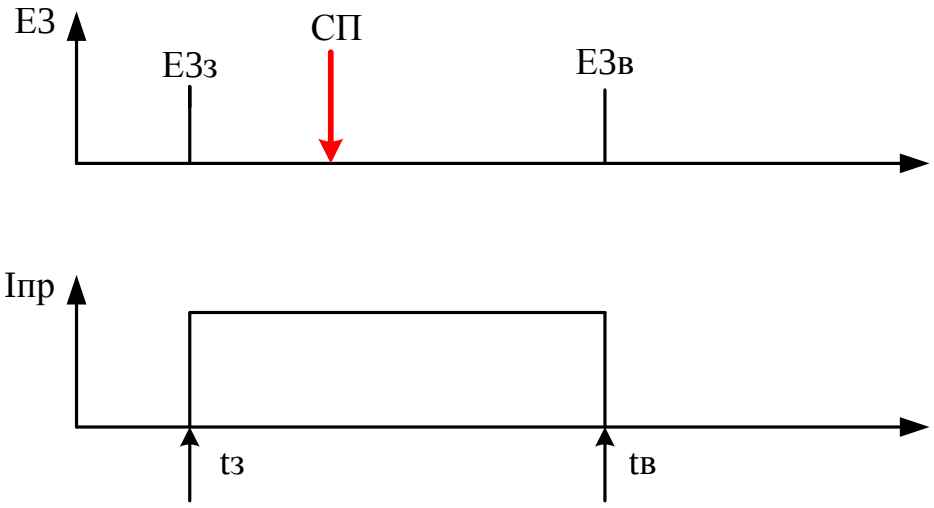


Рис. 2.3. До визначення довжини прокату

(розроблено автором)



СП – сигнал переривання, який надходить в контролер при переході показань ЕЗ через нуль

Рис.2.4.До визначення довжини проката при переході показників ЕЗ через нуль

(розроблено автором)

2.2 Вимоги до датчиків системи

У табл. 2.6 наведено відомості про датчики, що мають бути задіяні в системі, яка розробляється.

Таблиця 2.6

Перелік датчиків системи [2]

№	Найменування	Форма сигналу	Напруга виходу, В	К-ть, шт
1	Фотореле	Двопозиційний	0–24	2
2	Багатооборотний абсолютний енкодер головного приводу	Послідовний код	1,5–5	1
3	Абсолютний енкодер натискного пристрою	Послідовний код	0–5	2
4	Сигнал завдання на переміщення натискного пристрою	Аналоговий	±24	1
5	Сигнал завдання на обертання рольгангів	Аналоговий	±24	2
6	Шунт в якорі нижнього двигуна головного приводу	Аналоговий	±200 мВ	1
7	Шунт в якорі двигуна натискного пристрою	Аналоговий	±150 мВ	2
8	Блок гальванічної розв'язки	Аналоговий	±5	3

Як видно з табл. 2.6, система повинна приймати та обробляти сигнали з 9 різних датчиків; блок гальванічної розв'язки (БГР) підсилює сигнали шунтів до потрібного рівня.

2.2.1 Енкодер Е3

Максимальна довжина розкату Lпп у останньому пропуску з 14-тонного злитка визначається за виразом (2.11):

$$L_{пп} = 14 / (6{,}28 \times 7{,}8 \times 0{,}32^2) = 17{,}5 \text{ м} \quad (2.11)$$

де 7,8 – питома маса сталі, т/м³; 0,32 – розмір сторони квадрата, м.

Діаметр кола валка в 3-му каліброванні – 1,1 м, тобто довжина кола Lк:

$$L_к = 2\pi R = 6{,}28 \times 0{,}55 = 3{,}45 \text{ м} \quad (2.12)$$

Кількість обертів для прокату в останньому пропуску:

$$n = 17{,}5 / 3{,}45 = 5{,}07 \text{ об} \quad (2.13)$$

Отже, Е3 має бути багатооборотним. Ціна поділки молодшого розряду приймається рівною 3–5 см, що дає відносну похибку δе3:

$$\delta_{е3} = 0{,}05 \times 100 / 17{,}5 = 0{,}29\ \% \quad (2.14)$$

Визначається частота зйому сигналів Е3. При максимальній швидкості валка 90 об/хв на один оборот витрачається час t1об:

$$t_{1об} = 60 / 90 = 0{,}67 \text{ с} \quad (2.15)$$

Час t5 на проходження валком 5 см кола:

$$t_5 = 0{,}05 \times 670 / 3{,}45 = 9{,}7 \text{ мс} \quad (2.16)$$

тобто частота знімання сигналів Е3 – 103 Гц.

2.2.2 Енкодери Е1 та Е2

Максимальне переміщення верхнього валка – 800 мм, швидкість переміщення – 180 мм/с, двигун МПВ 640-700 (640 кВт, 700 об/хв). Кількість обертів двигуна для переміщення на 800 мм – близько 10, тобто Е1 і Е2 мають бути багатооборотними. Ціна поділки молодшого розряду приймається рівною 1 мм, що дає відносну похибку δе1:

$$\delta e1 = 1 \times 100 / 800 = 0{,}125\ \% \qquad (2.17)$$

При максимальній швидкості 180 мм/с на переміщення валка на 1 мм витрачається час t1нп:

$$t1нп = 1000 / 180 = 5{,}55\ \text{мс},\ \text{частота} – 181\ \text{Гц} \qquad (2.18)$$

2.2.3 Вимірювання струмів якорів двигунів

Вимірювання струму якоря виконується шунтом, напруга з якого підсилюється блоком БГР до рівня, що вимагається АЦП контролера. Шунт у якорі – класу 0,5. Відносна похибка БГР – 0,2 %, похибка АЦП – 0,1 %. Задається методична похибка δм = 0,5 %. Сумарна похибка:

$$\delta вст = \delta ш + \delta бгр + \delta ацп + \delta м + \delta р = 1{,}3\ \% \qquad (2.19)$$

де δр – похибка розрахунків, прийнята рівною нулю.

Похідна струму – 31 кА/с, номінальний струм – 6 кА. Абсолютна похибка δм = 0,5 % становить 30 А. Тоді період знімання сигналів струму:

$$\Delta t = 30 \times 1000 / 31\,000 \approx 1 \text{ мс, тобто 1 кГц} \quad (2.20)$$

З такою ж частотою контролер звертається до БГР приводів натискного пристрою.

2.2.4 Фотореле

Швидкість переміщення злитка в зоні видимості ФР1 і ФР2 – 2,3 м/с; довжина злитка – 1,9 м. Задається відносна похибка δзл = 0,5 %. Тоді абсолютна похибка δзла при заданій швидкості:

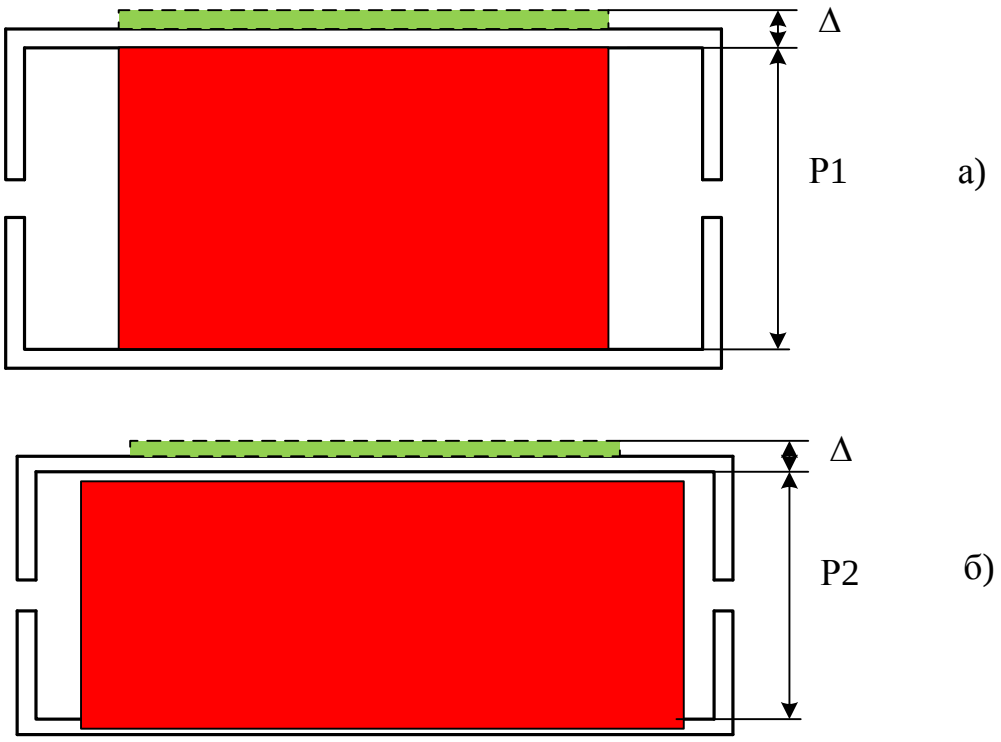
$$\delta\text{зла} = 1{,}9 \times 0{,}005 \approx 1 \text{ см} \quad (2.21)$$

Звідси Δt – період знімання сигналів ФР:

$$\Delta t = 1 \times 1000 / 230 = 4{,}3 \text{ мс, тобто 230 Гц} \quad (2.22)$$

2.3 Алгоритми роботи

Для пояснення алгоритмів роботи на рис. 2.5 зображено прокатку металу в першому та другому пропусках на бочці. Висота металу Р1 у першому пропуску більша, ніж у другому.



Δ – обтиск, P1, P2 – проміжок між валками

Рис. 2.5. Схема умовного відображення прокатки металу в першому та другому пропусках

(розроблено автором)

Сигнал на дозвіл підштамповки (Српв) при русі розкату в напрямку «Вперед» видається при виконанні умов (2.23):

$$\left.\begin{array}{c} \text{Српв} = 1, \text{ якщо:} \\ \text{Lнед} \le 0{,}3 \text{ м}, \\ \text{Пнп} = \text{Пнеп}, \\ \text{Пну} \ne \text{№13}, \\ \text{Дрв} = 1 \end{array}\right| \qquad (2.23)$$

де Lнед – довжина недокатаної частини розкату, м;

Пнп – положення верхнього валка;

Пнеп – положение, що відповідає непарному пропуску;

№13 – останній 13-й номер пропуску;

Дрв – рух рольгангів у напрямку «Вперед».

Сигнал на дозвіл підштамповки (Сдпн) при русі розкату в напрямку «Назад» видається при виконанні умов (2.24):

$$\left|\begin{array}{c} \text{Сдпн} = 1, \text{якщо:} \\ L\text{нед} \le 0{,}3 \text{ м}, \\ \text{Пнп} = \text{Ппп}, \\ \text{Пнп} \ne \text{№6} \cup \text{№10} \cup \text{№12}, \\ \text{Дрн} = 1 \end{array}\right. \qquad (2.24)$$

де Ппп – положення, що відповідає парному пропуску; №і – номери пропусків, при яких заборонено підштамповку; Дрн – рух рольгангів у напрямку «Назад».

Визначення відстані Lx, яку необхідно пройти розкату:

$$Lx = L\text{б}4 - 0{,}3 \qquad (2.25)$$

де Lб4 – відстань між віссю валків і віссю датчика наявності металу (див. рис. 2.3), м;

0,3 – значення порогу з (2.2), м.

Фізично Lx у (2.25) – це відстань, яку кінець розкату проходить за час t. Цей час визначається з виразу:

$$t = (V\text{зн} - Lx) / a \qquad (2.26)$$

де Vзн – лінійна швидкість валка в момент зникнення сигналу ДНМ, м/с;

а – сповільнення приводу, м/с².

$$Vзн = 2\pi n / 60 \qquad (2.27)$$

де n – кутова швидкість валка в момент зникнення сигналу ДНМ, об/хв.

$$2^0 = Lб4 / (Nпднм2 – Nпднм1) \qquad (2.28)$$

де 2^0 – ціна поділки одного імпульсу датчика кута повороту валків (ДКП), мм;

Nпднм2 – кількість імпульсів ДКП за час прокатки ділянки довжиною Lб4;

Nпднм1 – кількість імпульсів у момент появи сигналу ДНМ1.

Тоді радіус кочення калібру дорівнює:

$$R = 1200 \times 20 / 2\pi \qquad (2.29)$$

де 1200 – кількість імпульсів ДКП на один оберт валка.

Номер непарного пропуску (№ нп) визначається з умов (2.30):

$$\left.\begin{array}{c} (№\ нп) = №i, \text{ якщо:} \\ (Пнп – Пнп№i) \le Z, \\ Дрв = 1,\ (Плм – Плмі) \le Z \end{array}\right| \qquad (2.30)$$

де №i – номер непарного пропуску з ряду 1, 3, …, 13;

Пнп – фактичне положення верхнього валка;

Пну№i – задане програмою прокатки положення валка в і-му непарному пропуску;

Z – допустима похибка встановлення оператором положення валка;

Дрв – рух рольгангів у напрямку «Вперед»;

Плм, Плмі – фактичне та задане положення лінійок маніпулятора.

Визначення номера парного пропуску виконується з умов (2.31):

$$\begin{gathered}(№пп) = №i, \text{ якщо:} \\ (Пнп – Пнп№i) \le Z, \\ Дрн = 1, \\ (Плм – Плмі) \le Z\end{gathered} \qquad (2.31)$$

де №i – номер парного пропуску з ряду 2, 4, …, 12;

Пнп№i – задане програмою прокатки положення валка в і-му парному пропуску;

Дрн – рух рольгангів у напрямку «Назад».

Визначення значення швидкості n у виразі (2.27):

$$n = K / (tпi – tпi\text{-}1) = K / tпi \qquad (2.32)$$

де К – коефіцієнт перетворення тривалості імпульсу ДКП, визначається з (2.33);

tпi – момент часу появи поточного переднього фронту сигналу від ДКП валків;

tпi-1 – момент часу появи попереднього переднього фронту сигналу від ДКП валків;

tпi – період імпульсів ДКП.

Величина К визначається з умови: швидкість валка 60 об/хв, кількість імпульсів ДКП на один оберт – 1200. Тривалість періоду tп при цій швидкості:

$$tп = 1000 / 1200 = 0{,}833 \text{ мс} \qquad (2.34)$$

де 1000 – кількість мілісекунд за 1 секунду.

Відповідно К дорівнює:

$$K = 60 \times 0{,}833 = 49{,}98 \qquad (2.35)$$

де 60 – кутова швидкість, об/хв; 0,833 – період надходження імпульсів ДКП з (2.34).

Виконується перевірка (2.34). Із (2.35) визначається тривалість періоду для швидкості 30 об/хв:

$$t_п = 1000 / 600 = 1{,}667 \text{ мс} \qquad (2.33)$$

де 600 – кількість імпульсів ДКП при швидкості 30 об/хв.

Звідси: n = 49,98 / 1,667 = 29,998 об/хв.

2.4 Вибір технічних засобів системи

Із табл. 2.6 випливає, що загальна кількість сигналів, що підключаються до контролера, становить 11. Аналіз технічних даних та цін на модульний контролер фірм Siemens та Advantech показує, що ціни на контролер із модулями становитимуть відповідно 91 371 та 68 990 грн. Причина – надмірність модулів введення-виведення і вартість бренду. Тому прийнято рішення розробити технічні вимоги до спеціалізованого контролера, розробником і виготовником якого є вітчизняна фірма [4].

2.4.1 Одноплатний контролер

1. Призначення – приймання та обробка вхідних сигналів, видача управляючих сигналів, обмін даними з робочою станцією та ноутбуком.

2. Аналогові входи: 5 шт. (±5 В постійного струму). Похибка АЦП – не гірше 0,15 %; швидкодія одного каналу – не більше 20 мкс; розрядність – не менше 10; Rвх кожного входу – 3 кОм.

3. Дискретні входи: 6 шт., 0–24 В, Rвх 3 кОм, індивідуальна гальванічна розв'язка, генерація переривань у контролері, підтримка входів p-n-p та n-p-n.

4. Дискретні виходи: 6 шт., 24 В, 0,3 А, ОК n-p-n; чотири з них мають бути гальванічно розв'язані як від інших кіл, так і між собою.

5. Числоімпульсні входи: 3 шт., частота 5 кГц, послідовний код, напруга 5 В.

6. Годинник реального часу з календарем (бажано PCF8593T).

7. Напруга живлення 15–30 В постійного струму.

8. Порт для програмування та 2 послідовні порти: 1 порт RS-485 (гальванічно розв'язаний), 1 порт USB/RS-232.

9. Основна елементна база – мікроконтролер PIC, оснащений EEPROM (бажано PIC18F67K22; EEPROM програм 128 кБайт, ОЗУ 4 кБайт, EEPROM даних 1 кБайт).

10. Зовнішнє ППЗУ 128 кБайт для зберігання архівних даних.

11. Комплектуючі промислового діапазону температур: −40…+85 °C.

12. Кріплення на DIN-рейку; габарити (орієнтовно) 200×150×100 мм.

13. На корпусі контролера встановити світлодіод «Робота» (мигання 2–3 Гц).

14. До постачання входять відповідні частини роз'ємів, джгути, кабелі, засоби перевірки працездатності.

15. Орієнтовна ціна – 25 тис. грн з ПДВ.

2.4.2 Абсолютний багатооборотний енкодер RD58S10 [3]

Абсолютні енкодери – пристрої зворотного зв'язку, що повідомляють інформацію про абсолютне положення. Абсолютний енкодер генерує унікальний код для кожної позиції і не втрачає інформацію про фактичне положення при вимиканні живлення. У багатооборотному абсолютному енкодері вихідний сигнал є унікальним для кожного положення валу при кожному оберті до заданої кількості обертів [3]. Такі енкодери використовуються, коли повний діапазон позиціонування вимагає кількох обертів валу – наприклад, у ходових і кульково-гвинтових передачах.

Таблиця 2.7

Технічні характеристики енкодера RD58S10 [3]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Зовнішній діаметр	мм	58
2	Діаметр валу	мм	10
3	Інтерфейс	–	RS-485/RS-422/SSI/BiSS/Modbus/CANopen
4	Робоча температура	°C	−20 (−40)…+65
5	Робоча напруга	В DC	5±5 % / 9–30
6	Роздільна здатність	біт	13/12
7	Точність	кутова секунда	±15

2.4.3 Фотореле ФРСУ

Фотореле спеціальне уніфіковане серії ФРСУ призначене для роботи в схемах автоматичного управління, контролю та вимірювання як індикатор наявності, положення або величини оброблюваних виробів на станах гарячого і холодного прокатування [4]. Інфрачервоне випромінювання від гарячого об'єкта перетворюється датчиком на напругу. Напруга живлення – 220 або 240 В; частота – 50±1 Гц; споживана потужність – не більше 30 ВА; відстань від фотоголовки до освітлювача – від 1 до 8 м.

Таблиця 2.8

Основні технічні характеристики фотореле ФРСУ [4]

Параметр	ФРСУ-1	ФРСУ-2	ФРСУ-3	ФРСУ-4	ФРСУ-11	ФРСУ-21	ФРСУ-24
Чутливість, °С	700	700	–	700	300	700	700
Максимальна відстань до фотоголовки, м	8	8	6	8	8	12	10
Швидкодія по 1-му безконтактному виходу, мс	0,06	50	0,06	50	70	0,015	0,015
Маса комплекту, кг	1,2	1,2	0,8	1,2	1,2	1,2	1,2

Температура навколишнього середовища: від -40 до +45 °С.

2.4.4 Блок гальванічної розв'язки БГР для сигналів із шунтів [5]

1. Призначення – підсилення сигналів із шунтів та гальванічна розв'язка.

2. Кількість каналів – 3.

3. Напруга входу із шунта: ±0…200 мВ (2 канали), ±0…150 мВ (2 канали).

4. Вихідна напруга на виходах – ±5 В.

5. Навантажувальна здатність на виходах – не менше 20 мА.

6. Смуга пропускання – не менше 1 500 Гц.

7. Напруга ізоляції між входами і виходами – 3 000 В.

8. Напруга живлення блока: 15-24 В постійного струму; потужність – не більше 5 Вт.

9. Відносна приведена похибка – не більше 0,2 %.

10. Кліматика: -30…+65 °С.

11. Спосіб кріплення – DIN-рейка.

12. Довжина ліній зв'язку – до 150 м.

2.4.5 Блок гальванічної розв'язки БГР для сигналів завдань операторів і сигналів із шунтів [5]

1. Призначення – підсилення сигналів та гальванічна розв'язка.

2. Кількість каналів – 6.

3. Напруга входу сигналу оператора: ±24 В (2 канали); із шунта: ±200 мВ (2 канали), ±150 мВ (2 канали).

4. Вихідна напруга – ±5 В.

5. Навантажувальна здатність – не менше 20 мА.

6. Смуга пропускання – не менше 1 500 Гц.

7. Напруга ізоляції між входами і виходами – 3 000 В.

8. Напруга живлення: 15–24 В постійного струму; потужність – не більше 5 Вт.

9. Відносна приведена похибка – не більше 0,2 %.

10. Кліматика: −30…+65 °С.

11. Спосіб кріплення – DIN-рейка.

12. Довжина ліній зв'язку – до 150 м.

2.4.6 Блок живлення 20 ДП [5]

1. Вхідна напруга: від 160 до 250 В змінного струму.

2. Потужність – 20 Вт.

3. Захисти: від к.з., перевантаження, перегрівання.

4. Захисти мають бути самовідновлювальними.

5. Сигналізація захистів – обов'язкова.

6. Вихідна напруга – 24 В постійного струму.

7. Рівень пульсацій – не більше 200 мВ (амплітуда).

8. Встановлення на DIN-рейку.

9. Кліматика: −30…+65 °С.

2.5 Блок-схема алгоритму управління режимом підштамповки

З урахуванням викладеного вище розроблено алгоритм реалізації роботи системи (рис. 2.6).

У блоці 1 виконується введення технологічних параметрів та всіх початкових значень: довжина, яку необхідно підштампувати; кількість пропусків; довжини розкатів у всіх пропусках; зусилля верхнього валка НП на розкат у кожному пропуску залежно від марки металу, температури та кінцевого перерізу.

У блоці 2 перевіряється стан силового кола електроприводу НП. Якщо лінійний контактор КМ замкнутий, очікується сигнал таймера-лічильника з періодом дискретизації 1 мс (блок 3). Якщо силове коло не зібране, відбувається повернення на початок алгоритму.

Введення даних від усіх датчиків (струм якоря головного приводу, швидкість головного приводу, сигнал датчика положення ДП) виконується в блоці 4.

В блок 5 надходить сигнал завдання Uзад на переміщення натискного пристрою. Якщо Uзад < 0, сигнал обминає алгоритм «підштамповки» та надходить на вхід блока 22, який дозволяє рух НП у бік підйому. Якщо Uзад > 0, сигнал надходить на вхід блока 6.

У блоках 6 і 7 визначається номер пропуску за значеннями датчика положення верхнього валка. У блоках 8, 10, 13, 16 виконується перевірка факту захоплення злитка за значенням струму головного приводу. Якщо Ігп перевищив задане значення Ігпзад (блок 8), то за таймером (блок 10) виконується витримка часу для підтвердження захоплення. Якщо після цього Ігп ≥ Ігпзад (блок 16), починається прокатка і забороняється рух НП у бік «підштамповки» (блок 18).

Після захоплення злитка забороняється переміщення НП вниз (блок 19). У блоці 20 вимірюється довжина розкату шляхом інтегрування швидкості головного приводу.

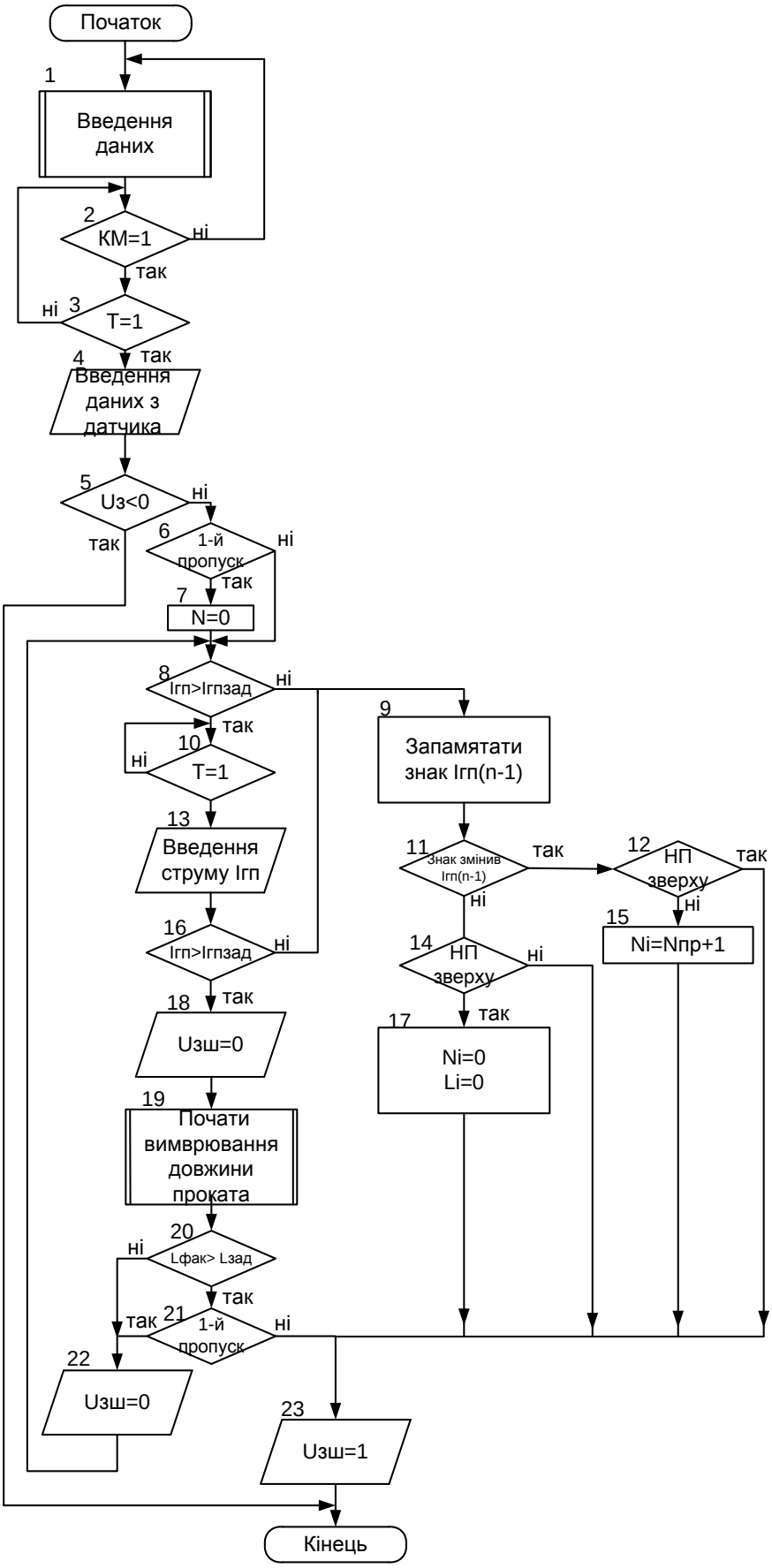


Рис. 2.6. Алгоритм управління режимом підштамповки

(розроблено автором)

У блоці 21 порівнюється фактична довжина розкату із заданою. Якщо Lірозк ≥ Lізад і це не перший пропуск, то робота НП дозволяється (блок 23). Якщо це перший пропуск або Lірозкк < Lізад – робота НП забороняється (блок 22) і здійснюється перехід у блок 8.

На рис. 2.7 показано графіки залежностей зміни швидкості двигунів, сигналів датчика наявності металу (ДНМ), заборони та дозволу «підштамповки». При захопленні злитка валками nз (рис. 2.7а) видається сигнал від ДНМ (рис. 2.7б) на заборону роботи НП (рис. 2.7в). При досягненні довжини, яку необхідно «підштампувати», Lпдшт САУ видає сигнал на дозвіл «підштамповки» (рис. 2.7в).

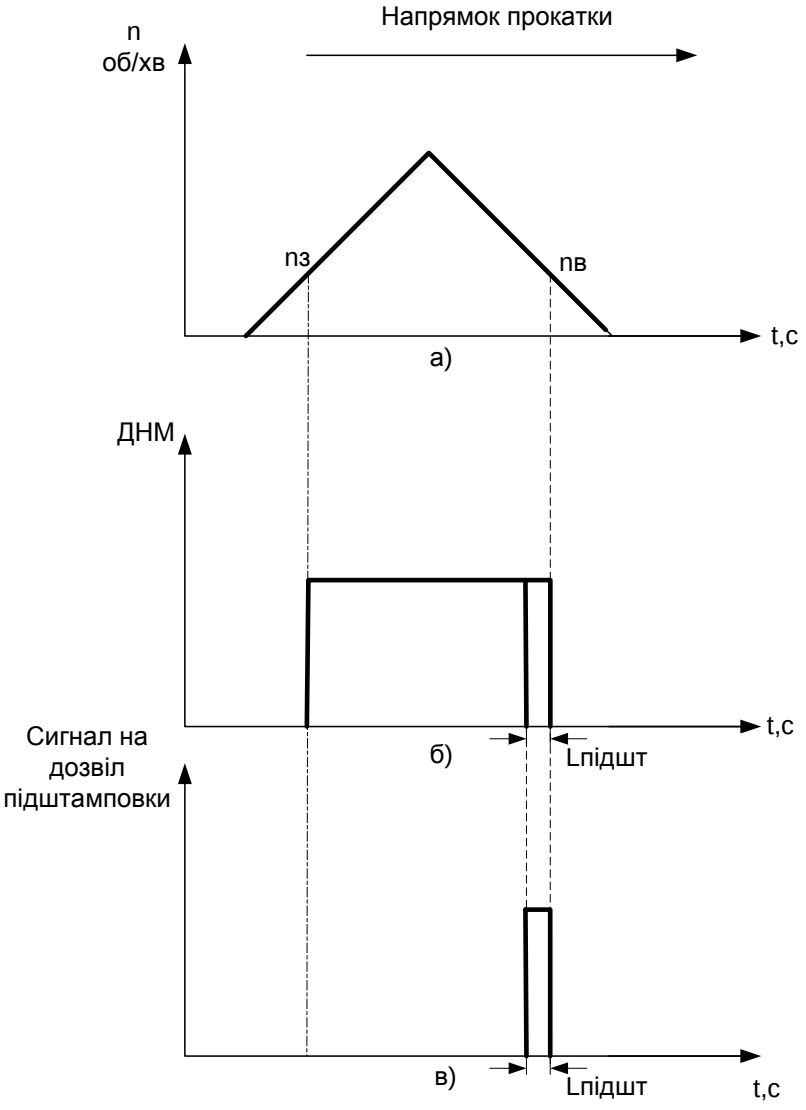


Рис. 2.7. Графіки режиму підштамповки

(розроблено автором)

2.6 Охорона праці та безпека при експлуатації системи автоматичного управління режимом підштамповки

2.6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Робоче місце оператора прокатного стану 1300 та зона обслуговування системи автоматичного управління (САУ) режимом підштамповки характеризуються сукупністю небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), класифікованих згідно з [8].

До фізичних небезпечних факторів належать: рухомі частини обладнання (валки діаметром до 1300 мм, натискні гвинти з ходом 1150 мм та швидкістю 185 мм/с, шпинделі, маніпулятор); підвищена температура злитків (до 1200 °С) і поверхонь обладнання; небезпечна напруга в колах електроприводу (МПВ 640-700, 380 В); окалина та гарячий метал під час прокатки.

До шкідливих фізичних факторів належать: підвищений рівень шуму від головного приводу та редукторів; загальна вібрація від стану і фундаменту; аерозолі окалини та металевий пил; електромагнітні поля в зоні шаф керування та силових кабелів.

Аналіз НШВФ на робочому місці оператора наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці оператора стану 1300

№	Небезпечний / шкідливий фактор	Джерело	Нормативне значення	Фактичне значення	Захід
1	2	3	4	5	6
1	Рухомі елементи (валки, натискні гвинти, шпинделі)	Робоча кліть, НП	Зона обслуговування ≥1,0 м від рухомих частин [8]	Відстань 1,2–1,5 м	Огорожі, блокування
2	Підвищена температура поверхонь і металу	Злиток (до 1200 °С), валки	Температура поверхні ≤45 °С [9]	До 80 °С на корпусах подушок	Теплоізоляція, ЗІЗ

Продовження табл. 2.9

1	2	3	4	5	6
3	Шум (прокатка, приводи)	Головний привод, редуктори	≤80 дБА [10]	92–95 дБА	Звукоізоляція кабіни, ЗІЗ (навушники)
4	Вібрація загальна	Стан, фундамент	Z-осьова ≤0,56 м/с² [10]	0,7–0,9 м/с²	Віброізолятори, обмеження часу перебування
5	Електромагнітні поля, напруга в електричних колах	Привод НП, шафи керування	U безпечна ≤50 В АС [11]	Робоча 380/220 В	Заземлення, захисне відключення, ЗІЗ
6	Окалина та металевий пил	Прокатка, охолодження	ГДК пилу ≤4 мг/м³ [12]	5–8 мг/м³	Аспірація, ЗІЗ (респіратор Р-2)

2.6.2 Заходи з усунення небезпечних факторів

Технічні та організаційні заходи з безпеки праці при експлуатації стану 1300 та системи САУ НП включають:

– установлення металевих огорож із блокуванням (мікровимикачі) навколо валків, шпиндельних з'єднань та маніпулятора; зняття огорожі автоматично вимикає привод відповідно до [8];

– теплоізоляція корпусів подушок та трубопроводів охолоджувальної води; встановлення теплових екранів між зоною прокатки та пультом оператора;

– застосування заземлення та занулення всіх струмовідних частин електрообладнання НП і САУ відповідно до [11]; ПЗВ (пристрій захисного відключення) чутливістю 30 мА на шафах керування;

– встановлення апаратури контролю ізоляції АКІП у шафах з напругою 380 В та 220 В;

– захисні екрани та кожухи на силових кабелях у зоні обслуговування одноплатного контролера та блоків БГР;

– гальванічна розв'язка сигнальних кіл контролера від силових кіл (напруга ізоляції 3000 В) відповідно до технічних вимог системи САУ НП;

– аспіраційна система для видалення окалини та металевого пилу з кратністю повітрообміну не менше 5 год$^{-1}$ відповідно до [12];

– антивібраційні амортизатори під фундаментними рамами редукторів та під кабіною оператора.

Рівень шуму на робочому місці оператора в кабіні зменшується застосуванням звукоізолювального облицювання стін та вікон кабіни. Залишковий рівень не перевищує 80 дБА при виконанні вимог [10]. При виконанні ремонтних робіт у зоні рухомих частин застосовується система нарядів-допусків відповідно до [8].

2.6.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди

Персонал, що обслуговує стан 1300 та систему САУ НП, забезпечується ЗІЗ відповідно до типових галузевих норм [13]:

– костюм захисний з вогнестійким просоченням та металізованими накладками (клас захисту ЕВ, термо);

– каска захисна з наголовником (клас А/Е);

– окуляри захисні з боковим захистом та світлофільтром для захисту від інфрачервоного випромінювання злитків;

– навушники протишумові зі звукопоглинанням SNR ≥ 28 дБ (наприклад, 3M Peltor X4A);

– рукавиці металізовані від контакту з гарячими поверхнями;

– напівчеревик гумовий (підошва антиелектростатична, ESD);

– респіратор Р-2 або FFP2 для захисту від металевого пилу та окалини.

Персонал, що допускається до обслуговування електрообладнання САУ НП, зобов'язаний мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III відповідно до [11]. Попередні медичні огляди проводяться при прийомі на роботу, а також щорічні періодичні огляди відповідно до [14].

2.6.4 Розрахунок захисного заземлення шафи керування САУ НП

Шафа керування САУ НП живиться від мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Нормований опір захисного заземлення $R_н \leq 4$ Ом згідно з [11]. Параметри стрижня: довжина L = 3 м, діаметр d = 0,05 м, глибина закладення вершини t_0 = 0,7 м. Питомий електричний опір ґрунту (суглинок): ρ = 100 Ом·м.

Опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_в = (\rho / (2\pi L)) \times [\ln(2L / d) + 0{,}5 \times \ln((4t + L) / (4t - L))] \qquad (2.36)$$

де ρ = 100 Ом·м – питомий опір ґрунту; L = 3 м – довжина стрижня;

d = 0,05 м – діаметр стрижня; t = 0,7 + 1,5 = 2,2 м – відстань від поверхні до середини стрижня.

Підставляються числові значення:

$$R_в = 5{,}305 \times [4{,}787 + 0{,}351] = 27{,}26 \text{ Ом} \qquad (2.37)$$

Оскільки $R_в$ = 27,26 Ом > 4 Ом, потрібне паралельне з'єднання заземлювачів. Кількість стрижнів n з урахуванням коефіцієнта використання η = 0,73:

$$n = R_в / (R_н \times \eta) = 27{,}26 / (4{,}0 \times 0{,}73) = 9{,}3 \rightarrow \qquad (2.38)$$

приймається n = 10 стрижнів

де $R_н$ = 4,0 Ом – нормований опір заземлення [11]; η = 0,73 – коефіцієнт використання при n = 10.

Результуючий опір заземлення: $R_з = 27{,}26 / (10 \times 0{,}73) = 3{,}73$ Ом < 4 Ом – умова виконана. Приймається контур заземлення з 10 вертикальних стрижнів Ø50 мм, L = 3 м, з'єднаних сталевою смугою 40×4 мм по периметру фундаменту шафи керування.

2.6.5 Пожежна безпека

Приміщення поста керування стану 1300 та кабельний відсік шафи САУ НП відносяться до категорії В (пожежонебезпечної) відповідно до [15], клас зони – П-IIа. Пожежна профілактика передбачає: використання кабелів ВВГнг-LS; встановлення теплових і димових сповіщувачів ІПД-3.1; наявність порошкових вогнегасників ВП-5 (не менше 2 шт.) поблизу шафи керування та пульта оператора; систему автоматичного пожежогасіння в кабельному тунелі – порошкову установку УАПП-5. Персонал щорічно проходить інструктаж з пожежної безпеки відповідно до [15].

2.6.6 Висновки з охорони праці

Виявлено шість груп небезпечних і шкідливих виробничих факторів: механічні, термічні, акустичні (92-95 дБА), вібраційні (0,7-0,9 м/с²), електрична небезпека (380 В) та запиленість (5–8 мг/м³). Для кожного фактора визначено перевищення нормативних значень і запропоновано заходи захисту: механічні огорожі з блокуванням, теплова ізоляція та екрани, звукоізоляція кабіни оператора, система заземлення (розраховано n = 10 стрижнів, Rз = 3,73 Ом), аспірація пилу, ЗІЗ відповідно до галузевих норм. Усі заходи відповідають чинному законодавству України та актуальним ДСТУ/ДБН.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано конструкцію та режими роботи натискного пристрою прокатного стану 1300; встановлено, що забезпечення оптимального моменту підштамповки є технічно складним завданням, яке неможливо ефективно вирішити в ручному режимі.

2. Встановлено, що наявна система автоматичного управління не виключає можливості виконання підштамповки оператором у некоректні моменти часу, що спричиняє ризик перевантажень та погіршення умов захоплення злитка.

3. Розроблено структуру і алгоритм функціонування системи автоматичного управління режимом підштамповки на базі спеціалізованого одноплатного контролера з використанням абсолютних багатооборотних енкодерів, фотореле та блоків гальванічної розв'язки.

4. Сформульовано технічні вимоги до контролера (11 каналів, роздільна здатність АЦП 0,15 %, RS-485, USB, DIN-кріплення, −40…+85 °C), до енкодерів (роздільна здатність E3 ≥ 0,29 %, E1/E2 ≥ 0,125 %; частота знімання 103 Гц і 181 Гц відповідно), до вимірювання струмів (смуга не менше 1 кГц, похибка ≤ 1,3 %) та до вимірювання довжини злитка через фотореле (230 Гц).

5. Визначено алгоритми видачі сигналів дозволу підштамповки в непарних і парних пропусках, що унеможливлюють виконання підштамповки при кантуванні та в останньому пропуску, а також алгоритм виявлення реверсу та прогнозування кінцевої довжини розкату.

6. Обґрунтовано вибір серійних компонентів (енкодер RD58S10, фотореле ФРСУ, блоки живлення 20 ДП та БГР вітчизняного виробника), що задовольняють технічним вимогам та відповідають цінам, прийнятним для промислового впровадження.

7. Реалізація запропонованої системи дозволяє автоматично оптимізувати момент подачі команди на переміщення НП, зменшити знос обладнання та підвищити стабільність технологічного процесу прокатки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Учитель А. Д. та ін. Системи автоматизації і контролю в гірничо-металургійному комплексі. Дніпро : Акцент ПП, 2018. 300 с.

2. Калашник С. С. Технічна документація лабораторії «Автоматики та телемеханіки». Олександрія : [б. в.], 2020. [Рукопис].

3. Абсолютний багатооборотний енкодер RD58S10 : технічна документація [Електронний ресурс]. URL: https://storage.ua.prom.st/1597495_lir_da158a02.pdf (дата звернення: 10.04.2026).

4. Фотореле спеціальне уніфіковане серії ФРСУ : каталог продукції [Електронний ресурс]. URL: http://promtehservise.com.ua/Katalog (дата звернення: 10.03.2026).

5. Блок живлення 20 ДП; блоки гальванічної розв'язки БГР : технічна документація. ТОВ «ПРОМСАТ». Київ, 2022 [Електронний ресурс]. URL: https://promsat.com (дата звернення: 10.04.2026).

6. ДСТУ 2815-94. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. Київ : Держстандарт України, 1994. 32 с.

7. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с.

8. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами) [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12 (дата звернення: 10.04.2026).

9. ДСТУ EN ISO 13732-1:2013. Ергономіка теплового середовища. Методи оцінювання реакції людини при контакті з поверхнями. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2013. 18 с.

10. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 28 с.

11. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2017). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

12. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць. Київ : МОЗ України, 1997. 24 с.

13. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 420 від 29.11.2005 «Про затвердження Типових норм безплатного забезпечення спецодягом, спецвзуттям та іншими ЗІЗ».

14. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 246 від 21.05.2007 «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій».

15. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 38 с.

StrikePlagiarism.com

Документ прийнятий

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
151-2д-2026врб

Автор
151-2д-2026врб

Науковий керівник / Експерт
Модло Є

ІД документу
334133448

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту
6/2/2026

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.

5.77% 5.77% КП 1

0.27% 0.27% КЦ

6920
Кількість слів

45010
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		31
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		24

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір 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 | Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

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

Я, Бондаренко Ярослав Дмитрович
(ПІП),

підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота
Автоматизація металургійного виробництва. Розробка системи автоматичного керування режимом підштамповки зливків у валках Блюмінгу 1300 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання 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 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений.

1.06		Бондаренко Я. Д.
дата	підпис	ініціали, прізвище (власноруч)