

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КОВБАСА
(підпис)

“ _____ ” _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи

автоматизації, електропривод та електромобільність»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка»

на тему:

Розробка та дослідження системи автоматичного керування електроприводом
кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану 390

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ЕП-31мп

Коваленко Іван Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н., проф. Толочко Ольга Іванівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент доц., к.т.н., доц. Гайденок Ю.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: автоматизований електропривод кривошипних ножиць сортового
прокатного стану

Київ – 2024р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Сергій КОВБАСА**
(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Коваленко Івану Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Автоматизований електропривод кривошипних ножиць сортового прокатного стану _____,
науковий керівник дисертації Толочко Ольга Іванівна, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 12.12.2024

3. Об'єкт дослідження система автоматизації електроприводу кривошипно-важільних **НОЖИЙ** сортового прокатного стану

4. Вихідні дані – матеріали переддипломної практики та рекомендована література

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналітичний огляд літературних джерел; Опис технологічного процесу прокатки і операції різання; Вибір силового обладнання; Математичний опис об'єкту керування, розробка математичної моделі та розрахунок її параметрів; Синтез системи керування

згідно з вимогами та дослідження її методом математичного моделювання; Автоматизація процесу різання; Розробка старт-ап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Кінематичні схеми ножиць, принципові схеми електроприводу і автоматизації, структурні схеми системи керування, графіки перехідних процесів

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 02.09.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд літературних джерел	20.09.2023	
2	Опис технологічного процесу прокатки і операції різання	30.09.2023	
3	Вибір силового обладнання	10.10.2023	
4	Математичний опис об'єкту керування, розробка математичної моделі та розрахунок її параметрів.	20.10.2023	
5	Синтез системи керування згідно з вимогами та дослідження її методом математичного моделювання	30.10.2023	
6	Автоматизація процесу різання	20.11.2023	
7	Розробка старт-ап проекту.	05.12.2023	
8	Написання вступу, висновків по роботі, оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	12.12.2023	
9	Подання роботи на перевірку	12.12.2023	

Студент


(підпис)

Іван КОВАЛЕНКО

Науковий керівник дисертації _____

Ольга ТОЛОЧКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки 88 сторінки, 31 рисунка, 6 таблиць.

В даній магістерській дисертації розглянуто систему автоматизації кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану 390. Охарактеризовано процес прокатки металевого профілю. Описано технологічний процес прокатки сортового прокатного стану та кривошипно-важільних ножиць. Розраховано та обрано двигун постійного струму та тиристорних перетворювач. Запропоновано алгоритм створення системи автоматизації електропроводу кривошипно-важільних ножиць. Створено математичну модель та досліджено її характеристики за допомогою програмного забезпечення MatLab/Simulink. Запропоновано старт-ап проект для покращення та розповсюдження досліджуваної технології.

МЕТАЛООБРОБКА, ПРОКАТКА, НОЖИЦІ, ПРОФІЛЬ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОДУЛІ, ІНТЕРФЕЙС ЗВ'ЯЗКУ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, SIEMENS.

					141.ЕП9206.018.БР				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Коваленко І.А.			Розробка та дослідження системи автоматичного керування електроприводом кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану 390 Реферат	Літ.	Арк.	Акрушів	
Керівн.		Толочко О. І.					6	88	
Реценз.		Гайденко Ю. А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, каф. АЕМС-ЕП гр. ЕП-31мп			
Н. Контр.		Теряєв. В. І.							
Зав. каф		Ковбаса С. М.							

SUMMARY

The master's thesis consists of a 88-page explanatory note, 31 figures, and 6 tables.

This master's thesis deals with the automation system for the crank and lever shears of section rolling mill 390. The process of rolling a metal profile is described. The technological process of rolling a section rolling mill and crank shears is described. A DC motor and a thyristor converter are calculated and selected. An algorithm for creating a system for automating the electrical wiring of the crank lever shears is proposed. A mathematical model is created and its characteristics are investigated using MatLab/Simulink software. A start-up project is proposed to improve and disseminate the technology under study.

METALWORKING, ROLLING, SHEARS, PROFILE, ELECTRIC DRIVE, THYRISTOR CONVERTER, AUTOMATION, MODULES, COMMUNICATION INTERFACE, MATHEMATICAL MODEL, SIEMENS.

					141.EP9206.018.BW							
	letter	Nº of document	Sign	Date								
Devel.		I. Kovalenko			Development and research of an automatic control system for the electric drive of crank lever shears of a long strip mill 390 Abstract				L.	Page	Pages	
Checked		O. Tolochko									7	88
Recension									NTUU "I. Sikorskiy KPI", FEA department AEMS-ED gr. EP-31mp			
N. contr.		V. Teryayev										
Approved		S. Kovbasa										

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ....	12
1.1 Характеристика технології прокатки.....	12
1.2 Класифікація ножиць.....	18
1.3 Режими роботи летючих ножиць	20
1.4 Електропривод в промисловості.....	22
1.5 Вимоги до електроприводу летючих ножиць.....	24
РОЗДІЛ 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ І ОПЕРАЦІЇ РІЗАННЯ	27
2.1 Технологія виробництва на середньосортному стані «390»	27
2.2 Конструкція кривошипно-важільних ножиців.....	31
2.3 Експлуатація й режим роботи кривошипно-важільних ножиць	33
РОЗДІЛ 3. ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ	37
3.1 Розрахунок потужності двигуна та його вибір.....	37
3.2 Розрахунок і вибір тиристорного перетворювача й силового трансформатора.....	38
3.3 Опис тиристорного перетворювача	40
3.4 Система керування перетворювачем	45
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ, РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ПАРАМЕТРІВ.....	47
4.1 Аналіз силової частини електроприводу як об'єкта керування	47
4.2 Визначення передатних функцій регуляторів	50

РОЗДІЛ 5. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	52
РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....	56
6.1 Алгоритм автоматизації процесу.....	56
6.2 Засоби автоматизації	58
6.2.1 Індикатор розкату Rota-Sonde DC2000	58
6.2.2 Станція керування швидкостями клітей.....	61
6.2.3 Модульна станція ET200M	70
6.2.4 Контролер SIMATIC S7-400	74
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА СТАРТ-АП ПРОЕКТУ	81
7.1 Теоретичні аспекти.....	81
7.2 Ідея стартапу	81
7.3 План реалізації.....	82
7.4 Переваги.....	83
7.5 Бізнес-модель	83
7.6 Потенційні ризики	84
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87

ВСТУП

Сучасний стан української металургійної промисловості зазнає не найкращих часів. З перспективою на майбутнє, було обрано об'єктом дослідження сортовий прокатний стан 390. Точніше кажучи, електропривод кривошипно-важелевих ножиць цього прокатного стану.

Виробничою програмою стану "390" передбачене використання багатострумкової прокатки (дистанцій поділ), що дозволяє випускати на стані арматурну сталь від № 8 до № 14 у прутках довжиною до 12 метрів.

Кривошипно-важільні ножиці, що є летючими ножицями виконують функцію головно різку прокату, що рухається, та здійснення аварійного різку в разі виникнення непередбачуваних ситуацій.

Найголовнішим завданням це є вивчення будови та конструкції сортового прокатного стану та летючих ножиць, оскільки створення системи автоматичного керування передбачає синхронізацію руху ножиць з рухом прокату. В такому випадку отримана продукція відповідає всім нормам та задовольняє технічне завдання стану. В іншому випадку, коли швидкість ножиць не синхронізована зі швидкістю прокату, може викликати загинання форми, різку неправильної форми та іншим дефектам, що прямо впливає на продуктивність системи.

Метою роботи є застосування та дослідження градієнтного методу ідентифікації електромагнітної та електромеханічних сталих часу двигуна постійного струму та розробка спостерігача моменту статичного опору для використання оціненої інформації при синтезі адаптивної системи керування двигуном постійного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати наявні методи ідентифікації та проаналізувати параметричні невизначеності.

2. Синтезувати спостерігач моменту статичного опору, як невимірюваного збурення, та дослідити ефективність його застосування у системі підпорядкованого регулювання.
3. Виконати ідентифікацію електромагнітної та електромеханічної сталих часу двигуна постійного струму із використанням дійсного значення струму якоря.
4. Виконати ідентифікацію електромагнітної та електромеханічної сталих часу двигуна постійного струму без використання дійсного значення струму якоря.
5. Застосувати оцінені параметри для поліпшення якості системи керування.
6. Дослідити систему підпорядкованого регулювання із використанням компенсації моменту статичного опору та із застосуванням у регуляторах ідентифікованих значень методом математичного моделювання.
7. Підвести підсумки за отриманими результатами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дипломний проект на здобуття наукового рівня магістр виконано на кафедрі «Автоматизації електромеханічних систем та електроприводу» у національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» відповідно до плану підготовки бакалаврів.

Об'єктом досліджень є методи ідентифікації та спостереження.

Предметом дослідження є система підпорядкованого регулювання двигуном постійного струму із використанням методів ідентифікації та компенсації збурення.

Методи досліджень. В дипломному проекті використано методи класичної та сучасної теорії керування, методи інтегрального та диференційного числення, математичне моделювання.

Практичне значення полягає у **можливості проведення ідентифікації градієнтним методом без використання струму якоря.**

Структура й обсяг роботи. Дипломний проект складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел у кількості 22, а також трьох додатків. Повний обсяг складає – 85 сторінок. У проекті наявні 49 рисунків та одна таблиця.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Характеристика технології прокатки

Чорна металургія включає в собі дві стадії обробки матеріалів:

- 1) Створення сталі різного компонування, використовуючи різний хімічний склад та розливання її на машині неперервного лиття;
- 2) Надання злиткам заданої готової форми.

Для отримання металевих профілів існують спеціалізовані металургійні та машинобудівні підприємства, що використовують прокатні стани. В результаті прокату, процесу обробки металевих злитків шляхом пропускання заготовки через валки задля зменшення її товщини чи зміни форми заготовки, отримуємо готовий профіль, що є стадією завершення у металургійному виробництві [1].

Залежно від видів **форм** продукції прокатних цехів, можна виділити чотири основні групи:

- 1) сортові профілі (загального призначення: круг, квадрат, кутові профілі, балка та інші; профілі галузевого призначення: рейка, дверна петля, трикутний профіль);
- 2) листовий прокат тонко- і товстолистовий;
- 3) трубну продукцію (безшовні, зварні, фасонні та інші труби);
- 4) спеціальні профілі прокату (колеса, кулі, бандажі, шестерні).

Види профілів такі як: гнуті фасонні профілі, що виготовляються з листа і штаби; періодичні профілі прокату, що виготовляють на станах подовжного прокатування та станах поперечно-гвинтового прокатування, прецизійні фасонні профілі та інші, які мають економічну перевагу їх використання, а саме економія металу до 30 – 40% у споживача та скорочення верстатного парку машинобудівників.

Для використання в різноманітних галузях господарства, використовуються профілі різноманітної форми поперечного перерізу, що наведені нижче [2].

- 1) Простий сортовий профіль – круг, квадрат, овальний, напівовальний, ромбоподібний, трефоподібний рис. 1.1, а.
- 2) Фасонний сортовий профіль — тавровий, двотавровий, швелерний, кутниковий, зетовий та ін., рис. 1.1, б.
- 3) Спеціальний профіль рис. 1.1, в
- 4) Періодичний профіль — арматурний прут, заготовка вагонної осі, заготовка шатуна, леміш плуга, вісь пластинчастого ланцюга та ін. рис.1.1 г
- 5) Трубопрокат рис. 1.1 д
- 6) Листовий прокат рис. 1.1 е
- 7) Штабований прокат рис. 1.1 є

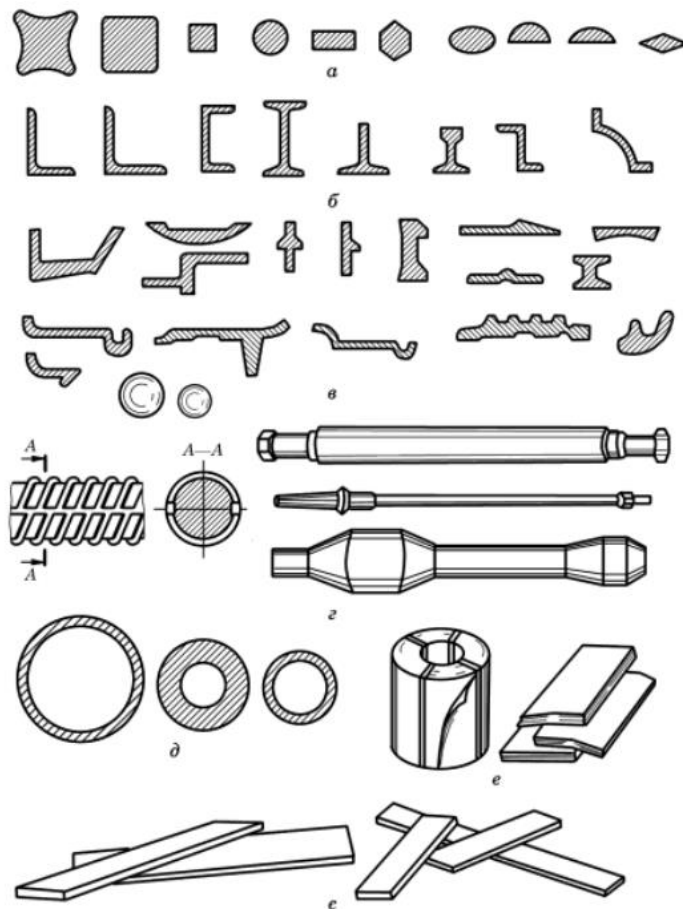


Рисунок 1.1 – Сортимент прокатної продукції: а – простого профілю;
 б - фасонного; в – спеціального; г – періодичного; д – трубного; е – листового;
 є – штабового

Особливістю обробки металів тиском є досить висока продуктивність та точність витримки розмірів. Обробці тиском у машинобудуванні піддають близько 90% сталі і більшу частину кольорових металів [3].

В процесі прокатування металу відбувається пластична деформація матеріалу валками, які обертаються. На основі цього виділяють три основні види прокатування: поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове [4].

Основи поздовжньої прокатки металу це поступальний рух заготовки через прокатну кліть, та обертання валків на зустріч один одному рис. 1.2.

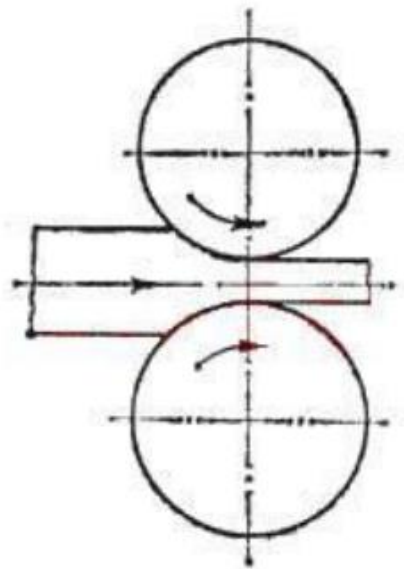


Рисунок 1.2 – Схема поздовжньої прокатки

Такий тип прокатки включає в себе безперервне втягування металу в щілину між валками. Тип деформації – зменшення товщини та збільшення довжини та ширини. Такий тип деформації забезпечується оброблюваною смугою і робочою поверхнею валків. При характеристиці процесу прокатки необхідно взяти спрощення та допущення: обидва валки повинні мати однаковий коефіцієнт тертя, що отримується з однакових діаметрів валків з однаковою частотою обертання та станом поверхні. Потрібно контролювати щоб деформована заготовка мала постійні розміри по довжині, при цьому постійні величини: хімічна складова і структура металу, температура металу, стан поверхні заготовки та інші.

При поздовжньому формуванні на гладких валках мають місце три види деформації: обтиснення, розширення і витяжка [5]. Застосовується для виготовлення листового металу, профілів та балок, дротів, арматури, труб.

Поперечна прокатка відрізняється від поздовжньої тим що заготовка має поступально-обертальний рух а валки обертаються в одну сторону а **заготовка** в протилежну. Вісь тіла, що обробляється паралельна осі валків рис.1.3. Поступове зближення валків зменшує діаметр виробу. Використовується для створення валків, осей, втулок та інших виробів тіл обертання, **шестірни** та зубчасті колеса [6].

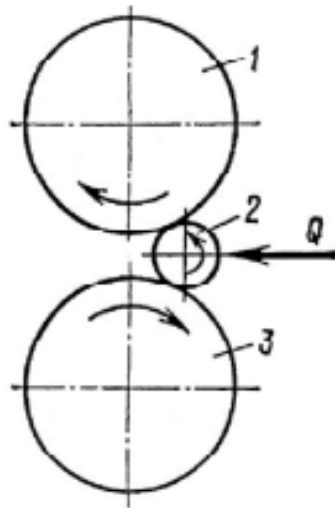


Рисунок 1.3 – Схема поперечної прокатки

1 2 3 -?

Поперечно-гвинтова прокатка здійснюється за допомогою двох або трьох валків, що обертаються в одну сторону. Особливість полягає в тому що валки встановлені під деяким кутом один до одного. В такому випадку на заготовку діють сили спрямовані вздовж заготовки та по дотичній до її поперечного перерізу, що спричиняє обертання, втягування матеріалу в щілину, що звужується та деформацію рис. 1.4 [7].

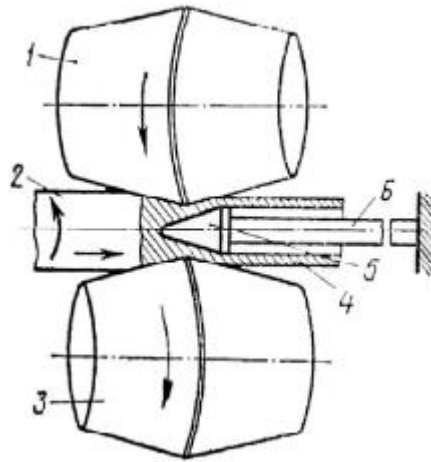


Рисунок 1.4 – Схема поперечно-гвинтової прокатки

Використовується для отримання пустотілих трубних заготовок, куль для роликів або підшибників, пружини та ресори, гвинтові вироби.

За призначенням прокатні стани бувають:

1. Обтискні (блюмінги та слябінги). Обтискування злитків великого поперечного перерізу на квадратні заготовки – блюми та плескаті прямокутні заготовки - сляби;

2. Заготівельні. Основною задачею є зменшення перетину заготовки, її подовження і надання необхідних розмірів та форми для подальшої обробки на виробничих лініях;

3. Сортіві. Використовуються для виробництва круглого профілю, двотаврових балок, швелерів, квадратних профілів, дроту-канатки та смугового металу;

4. Листові;

5. Трубні.

За кількістю та розташуванню валків:

Двохвалкові, (рис.1.5 а), прості конструкції які використовуються для виготовлення простих профілів, є дешевшими в силу конструкції. Бувають реверсивні та неревверсивні, що дозволяє пропускати заготовку в двох напрямках або в одному відповідно.

Тривалкові прокатні стани (рис.1.5 б) забезпечують обробку заготовки в двох напрямках одночасно що відкидає проблему зміни положення заготовки після кожного проходу.

Чотиривалкові (рис.1.5 в) забезпечують більшу точність обробки та більшу стабільність процесу в порівнянні з попередніми, що дозволяє обробляти твердіші матеріали. Такі характеристики забезпечуються завдяки опорним валкам.

Багатовалкові стани (рис.1.5 д, е) мають робочі валки, що опираються на декілька провідних та опорних валків, що забезпечує велику жорсткість конструкцій та запобігає прогинанню робочих валків.

Універсальні прокатні стани (рис.1.5 ж) забезпечують обробку заготовки з чотирьох сторін, маючи в будові горизонтальні та вертикальні валки.

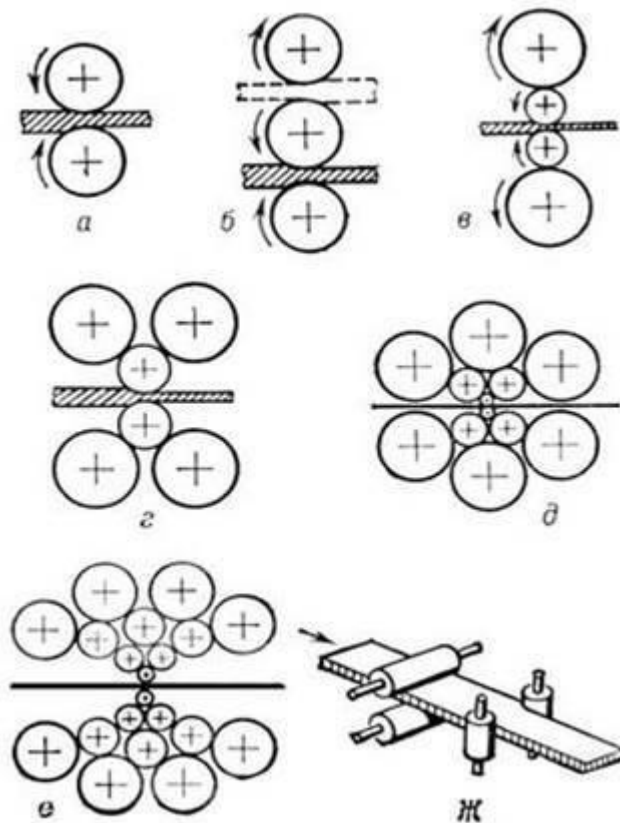


Рисунок 1.5 – Класифікація кількості валків

1.2 Класифікація ножиць

Ножиці, з ножами, що лежать паралельно, застосовують для поперечного перерізання гарячого металу: блюмів, слябів, сортових заготовок прямокутного перетину.

Різання металу 1 здійснюють вертикальним переміщенням одного з ножів 2, установленого у ступорі 3 рис. 1.6

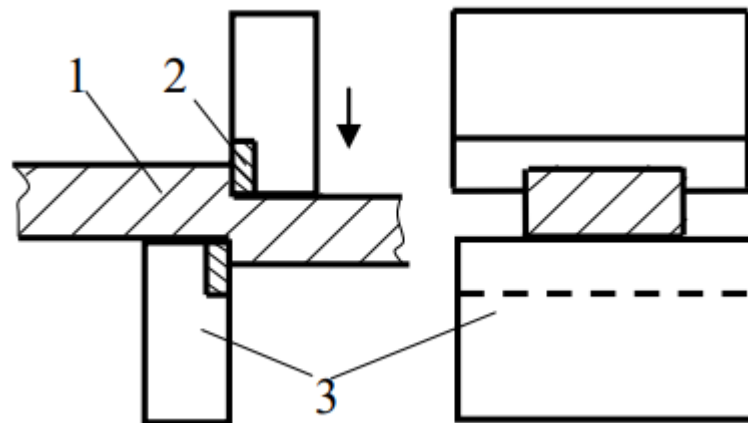


Рисунок 1.6 – Ножиці з паралельними ножами

Такий тип ножиць буває двох конструкцій, з верхнім порізом та з нижнім порізом. У першому випадку рухливим є верхній ніж, а в другому – обидва, але різання здійснюється рухом нижнього ножа.

Головним недоліком ножиць з верхнім порізом є обов'язкова наявність підйомно-хитного столу, оскільки ніж, що виконує різання є нерухомим. Ножиці з нижнім порізом обходять ці недоліки, за рахунок чого набрали більшої популярності.

Гільйотинні ножиці застосовуються для різання листів, смуги (штрипсів), сутунки й дрібного сорту великими партіями. Конструктивно вони діляться на два види: відкритого й закритого типів. Ножиці відкритого типу мають короткі ножі й одну станину з отвором збоку, куди подається метал, що ріжеться. Їх застосовують головним чином для різання сутунки й сортового металу в

холодному стані, в останньому випадку форма ножів відповідає профілю перетину металу, що ріжеться.

Ножиці закритого типу мають дві станини, з'єднані внизу траверсою, у просвіті між станинами переміщається супорт із ножом. Ці ножиці застосовують для поперечного різання широких смуг й листів у холодному, напівохолодженому або гарячому стані.

Летючі ножиці призначені для різання металу при русі з великою швидкістю використовуються летучі ножиці. У прокатних цехах експлуатуються ножиці різних конструкцій: барабанні, важільно-кривошипні, планетарні й маятникові й ін.

Барабанні летючі ножиці мають просту будову та надійність в експлуатації. Складаються з двох барабанів у пазах яких по твірним закріплені ножі (по одному або декілька). При подачі смуги та зустрічі ножів відбувається різання. Можуть працювати у двох режимах: періодичних запусків та безперервної роботи.

Кривошипно-важелеві летючі ножиці. Ножі в такій конструкції рухаються по складній еліпсоподібній траєкторії, проте на ділянці різання вона майже збігається з горизонтальним рухом смуги.

Планетарні летучі ножиці. Механізм складається з двох приводних барабанів, що утворені зубчастими шестернями. В середині кожного барабану є планетарна зубчаста передача, до якої входять сонячна, проміжна, і планетарна шестерня. Вали шестірень установлені на особливих підшипниках; вал планетарної шестірни має три опори; між двома крайніми опорами на валу цієї шестірни жорстко закріплена ріжуча головка (супорт) з ножом. Ножиці мають два режими: а) без пропуску різ; б) із пропуском різ.

Дискові ножиці несуть головну мету розрізу широких смуг на тонші. Різальним інструментом дискових ножиць є дискові ножі. Залежно від виконуваних операцій ножиці можуть мати дві пари ножів або більше. Для обрізки крайок застосовують двопарні дискові ножиці, а для розпуску широкої смуги – багатопарні.

Дискові пилки призначені для різання профільного прокату застосовуються дискові пилки з метою підвищення якості різ. Дискові пилки розділяються на дві групи: для гарячого різання (зубчасті диски) і для холодного різання (гладкі диски). У пилок із гладкими дисками різання відбувається внаслідок розплавлювання металу при терті швидкообертового диска [8].

1.3 Режими роботи летючих ножиць

Для реалізації системи автоматичного керування електроприводом летючих ножиць використовують два методи. Система керування може бути виконана у режиму старт-стоп або в режимі безперервного обертання. Ці методи базуються на використанні системи регулювання положення з лінійним або нелінійним регулятором положення. Зазвичай використовується регулятор пропорційного типу з постійними (лінійний) або змінним (параболічним, нелінійним) коефіцієнтом підсилення. Лінійний регулятор налагоджується на певне переміщення щоб дане переміщення відпрацьовувалося з бажаними характеристиками. При налаштування такої системи перерегулювання є недопустимими оскільки порушується точність обробки прокату, також вони спричиняють порушення технологічного процесу.

Старт-стоповий режим характеризується тим, що ножиці залишаються нерухомими, очікуючи прокату. Ножі знаходяться в початковому положенні до отримання сигналу для різ (від датчика або оператора). Після надходження сигналу запускається привід. В цьому випадку система керування – це система регулювання швидкості з задавачем інтенсивності. Ножі розганяються зі струмом, близьким до номінального, досягаючи швидкості, що перевищує швидкість прокату на 5-10%. Відбувається різ полоси, що додає момент навантаження на вал електроприводу. Після завершення різ система керування перемикається в режим регулювання положення, щоб повернути ножі в початкове положення. В старт-стоповому режимі позиціонування приводу обмежується поверненням в початкове положення, тому тип регулятора

положення не впливає на якість різу, а перерегулювання або дотягування не є критичними. Це дозволяє використовувати лінійний регулятор положення. Різ полоси зазвичай закінчується майже в одному і тому ж положенні ножів, тому позиціонування виконується без додаткового навантаження, і регулятор положення можна налаштувати для кожного випадку. Відсутність режимів дотягування або перерегулювання дозволяє зменшити витрати на розгін і гальмування, збільшуючи термін експлуатації обладнання. Тому доцільно оцінити можливість використання нелінійного регулятора положення, особливо якщо ножиці можуть різати частини різної довжини. Для забезпечення ефективного перехідного процесу потрібно вибирати коефіцієнт підсилення окремо для кожного механічного налаштування ножиць.

Режим постійного оберту характеризується зменшеними втратами на розгін і гальмування, оскільки ножі не зупиняються в одному положенні при частому різі. Для розрізання прокату в потрібний момент система повинна перевести ножі у стан, в якому різ розпочнеться з певною затримкою після сигналу датчика. Рухомі ножі мають зменшити або збільшити швидкість, щоб почати різ у заданий час. При цьому до початку різу ножі повинні досягти швидкості, що трохи перевищує швидкість прокату. Це завдання фактично є позиціонуванням системи регулювання на ходу – ножі повинні пересуватися, позиціонуючи себе відносно прокату. У цьому випадку система автоматичного регулювання представляє систему підпорядкованого регулювання положення без переключення між системами регулювання швидкості та положення. Контур положення працює відповідно до завдання від задавача положення. При надходженні сигналу про наявність прокату змінюється завдання для забезпечення синхронізації пересування прокату і ножів – швидкість ножів зростає і спадає, щоб досягти бажаного положення відносно прокату. Після завершення різу ножі продовжують пересуватися до нового сигналу на різ. У цьому випадку регулятор положення постійно працює, виконуючи роль синхронізації та позиціонування на ходу. Відсутність необхідності гальмування

при позиціонуванні свідчить про незначні відмінності між системами з лінійним і нелінійним регулятором положення.

1.4 Електропривод в промисловості

Мікропроцесори, що використовуються в силових перетворювачах змінного та постійного струму, останнім часом набули широкого використання через покращення технологій. Що дозволяє змінювати рішення із використанням електроприводу постійного струму на електропривод змінного струму. Проте електропривод постійного струму продовжує відігравати особливу роль у системах де необхідне забезпечення високодинамічних режимів роботи з постійним моментом обертання, жорсткими вимогами по перевантажувальній здатності в широкому діапазоні швидкостей та рекуперацією в мережу.

Серед основних технічних параметрів, а саме типорозмір, моменти інерції та час розгону, двигуни постійного та змінного струмів є досить різними. Різні розміри (висоту осі обертання валу), момент інерції ротора при одному і тому ж номінальному значенні моменту обертання обумовлюють різні методи формування магнітного потоку та розсіювання втрат потужності.

Двигуни постійного струму мають менший момент інерції ротора в результаті меншої висоти осі обертання і меншої маси ротора на відміну від асинхронних двигунів, що надає їм перевагу у використанні в таких високодинамічних системах як випробувальні стенди, летючі ножиці і реверсивні приводи оскільки ці параметри впливають на час розгону та динамічних відгук двигуна в рухових та гальмівних режимах.

Завдяки новим технологіям виробництва вуглецевих щіток і оптимізованому збудженні поля, запас міцності щіток у двигуні постійного струму становить приблизно 7000 – 12000 годин. В залежності від умов експлуатації, інтервал заміни мастила в двигунах постійного/змінного струмів може бути рівним, і навіть меншим, ніж ресурс щіток колекторного двигуна.

Двигуни постійного струму в своїй будові мають внутрішню форсовану незалежну вентиляцію, в той час як асинхронні двигуни – поверхневу самовентиляцію. Зазвичай стандартний ступінь захисту ДПС це IP 23, в той час АД – IP 54. Ці параметри впливають на масу та габарити двигунів, що впливає на розміщення двигунів в застосуваннях де двигун повинен переміщатися разом із вантажем (великі підйомні крани, мостові крани) або в системах де компактне розміщення є важливим (морські застосування, друкарські машини, бурові установки).

Принцип роботи тиристорного перетворювача. Перехід струму між тиристорами починається з імпульсу пуску, після чого відбувається у взаємопов'язаному режимі. Напруга, між комутованими фазами мережі, в такому випадку, створює умови, за яких струм через нововідкритий тиристор збільшується, витісняючи струм попереднього тиристора, поступово зводячи його до нуля. Комутація тиристорних елементів здійснюється під дією напруги мережі, коли струм проходить через нуль, забезпечуючи їх надійне запирання навіть у разі значного перевантаження. Завдяки цьому тиристори можна вибирати не за піковим струмом, а за середнім номінальним струмом навантаження.

Принцип роботи перетворювача частоти. Вхідний випрямляч перетворювача частоти функціонує аналогічно системам приводів постійного струму, випрямлений струм знову перетворюється у трифазний змінний за допомогою інвертора. Оскільки постійний струм не переходить через нуль, перемикальні елементи (IGBT-транзистори) змушені переривати повний струм навантаження. При закритті IGBT-транзистора струм спрямовується через зворотний діод до протилежного полюса напруги постійного струму. Перемикання виконується без прив'язки до напруги, тому можливе у будь-який момент, незалежно від форми мережевої напруги.

У перетворювачах частоти комутація відбувається з високою частотою, що призводить до появи високочастотної складової у вихідній напрузі, що може спричинити проблеми з електромагнітною сумісністю.

На відміну від перетворювачів постійного струму, які мають лише один контур перетворення енергії (AC - DC), перетворювачі частоти включають два таких контури (AC - DC і DC - AC). Це призводить до подвоєння втрат потужності порівняно з системами приводів на постійному струмі.

На основі проведеного аналізу для дослідження в даній роботі було обрано систему тиристорний перетворювач – двигун постійного струму.

1.5 Вимоги до електроприводу летючих ножиць

В прокатному стані існують два основних класи допоміжних механізмів: обробні та транспортні механізми.

Всю роботу, яка пов'язана зі формуванням матеріалу виконують обробні механізми а саме механізми різання, виправлення, змотування, обробки поверхні, обв'язки, упакування та інші. Сюди можна віднести ножиці, пилки, правильні машини, моталки, розмотувачі, натискні пристрої, агрегати зчищення та інші.

Найголовніша вимога до допоміжних механізмів це забезпечення високопродуктивної та надійної роботи прокатного стану. Більшість таких пристроїв вимагає швидкого розгону та гальмування, щоб не уповільнювати технологічний процес.

Механізми ножиць здійснюють строго фіксовані переміщення робочого органу, тому тут необхідна точна фіксація положення двигуна з відсутністю перерегулювання, оскільки перерегулювання по переміщення робочого органу може призвести до ударів у механічних передачах при наявності люфтів.

Такі електроприводи працюють у повторно-короткочасному реверсивному режимі з частотою включень до 2000 на годину при ПВ 59-70%. Високі вимоги до динаміки електропривода зумовлені частими включеннями. Час реверса має бути не більше 25-40 мс. Діапазон регулювання швидкості складає від (10-20):1 [9].

Електроприводи металургійного виробництва повинні відповідати наступним вимогам: висока частота запусків та гальмування, підвищена швидкість протікання перехідних процесів, широкий діапазон регулювання швидкості та висока перевантажувальна здатність. Електроприводи мають всі необхідні властивості для задоволення поставлених вимог. У великих прокатних станах використовуються двигуни постійного струму з обмеженою максимальною потужністю, яка визначається наступними межами:

- 1) напруга між колекторними пластинами - 10-20 В;
- 2) величина лінійного струмового навантаження - 200-2000 А/см;
- 3) механічне напруження на якорі через лінійну швидкість до 70 м/с;
- 4) умови нормальної комутації (величина реактивної ЕРС у комутуючій секції - 5-8 В).

Основою технічного прогресу двигунів, що беруть участь у металопрокатці є збільшення одиничної потужності у одному якорі. Сьогодні потужність окремих двигунів складає 20000 кВт. Збільшення потужності двигунів постійного струму досягається за рахунок сучасних технологій у виготовленні сталі, сплавів, хімічних полімерів, а також завдяки новій електромагнітній геометрії електричних машин, включаючи використання двохходових та триходових обмоток якоря.

Поліпшення комутації досягається за допомогою компенсаційної обмотки. Встановлену потужність можна збільшити методом створення двофазних (Україна, Росія) або три- та чотирифазних прокатних двигунів (США, Західна Європа, Японія). Зазначені заходи дозволяють збільшити номінальну потужність. Проте зі збільшенням потужності двигуна його момент інерції зростає швидше за обертаючий момент, тому модернізація головних електроприводів прокатних станів в бік зростання потужності зараз обмежена та часто супроводжується заміною на двигун такої ж потужності і фундаменту.

Асинхронні двигуни зазвичай застосовуються для нерегульованих електроприводів, що працюють в тривалому або повторно-короткочасному режимі з невеликою частотою включень. В частотному електроприводі

асинхронні двигуни переважно використовуються для регулювання швидкості, як, наприклад, для рольгангів.

Висновки: в даному розділі наведено головну інформацію про технічне обладнання. Будову, типи, застосування різних видів металооброблюючих механізмів. Було охарактеризовано механічний процес прокатки, що дозволить сформулювати технічне завдання на проект та полегшить розуміння роботи системи.

Проведена класифікація ріжучих механізмів, їх режимів роботи, що дозволило сформулювати вимоги до електроприводу даного механізму, на основі чого обиралися обладнання для системи автоматизації.

Проведена класифікація типів електроприводів що застосовують у важких умовах металургійної галузі.

РОЗДІЛ 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ І ОПЕРАЦІЇ РІЗАННЯ

2.1 Технологія виробництва на середньосортному стані «390»

Безперервний середньосортний стан "390" призначений для прокатки готової продукції наступних поперечних перерізів, для яких визначені також форми калібрів:

- кругла сталь — $\varnothing 10; \dots; \varnothing 60$;
- арматурна сталь — $8 \times 2; 10 \times 2; 12 \times 2; 14 \times 2; 16; 18; 20$ SKt. 14; 22; 25; 28; 32; 36;
- шестигранна сталь — SKt. 14; SKt. 20; SKt. 28; SKt. 30; SKt. 34; SKt. 48;
- квадратна сталь — VKt. 14; VKt. 18; VKt. 25; VKt. 28; VKt. 36; VKt. 45;
- рівнобікі кутки — L $25 \times 25 \times 3$; L $32 \times 32 \times 4$; L $36 \times 36 \times 3/4$; L $45 \times 45 \times 3/4/5$; L $50 \times 50 \times 3/4/5$; L $56 \times 56 \times 3/4/5$; L $63 \times 63 \times 4/5/6$.

Головні приводи робочих клітей можуть підтримати досягнення максимальної швидкості в 18 м/с. Ці швидкості можуть прокатки можуть бути досягнуті при використанні нових та обточених валків.

Для пусконаладжувальних робіт, тобто освоєння нових профілів або перехід на нову програму та зміну калібрування, передбачений резерв діапазону регулювання головних прокатних двигунів убік нижньої та верхньої меж.

Будову та розташування елементів прокатного стану показано на рис. 2.1.

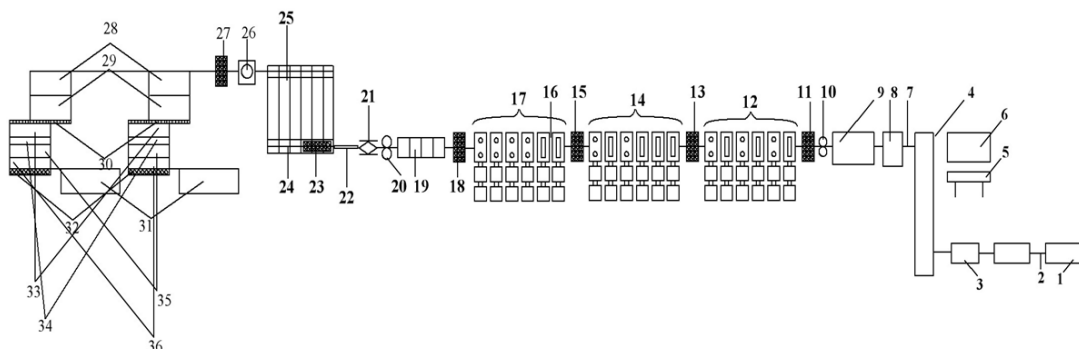


Рисунок 2.1 – Схема розташування технологічного обладнання прокатного стану «390»

Де 1 - завантажувальний пристрій; 2 - завантажувальний рольганг; 3 - рольгангові ваги; 4 - піч для нагрівання заготовок; 5 - скидувач; 6 - прийомний рольганг із ґратами для заготівок; 7 - рольганг, що підводить; 8 – пристрій для гідрочистки окалини; 9 - термос; 10 - трайбаппарат; 11 - проміжні розривні ножиці; 12 - чорнова група; 13 – 1 кривошипно-важелеві ножиці; 14 - проміжна група; 15 - 2 кривошипно-важелеві ножиці; 16 - петлерегулятор; 17 - чистова група; 18 - 3 кривошипно-важелеві ножиці; 19 - ділянка термозміцнення; 20 - трайбаппарат; 21 - стрілка; 22 - рольганг, що підводить; 23 - шибєр; 24 - передавальний пристрій; 25 - ділянка холодильника; 26 - правильна машина; 27 - 5 розривні ножиці; 28 - передавальний пристрій; 29 - ланцюговий транспортер 1; 30 - рольганг, що вирівнює; 31 - складальні ґрати; 32 - в'язальна машина; 33 - ланцюговий транспортер 2; 34 - дозатор; 35 - вертикальний транспорт; 36 - поперечний транспорт.

Стан складається з ділянки нагрівальної печі, 18- ти робочих клітей, ділянки холодильника, ділянки підготовки й збирання прокату.

Подача заготівок до стану виробляється в такий спосіб: заготівлі довжиною 9800, 10800 і 11800мм, профілем 150х150, 125х125 привозять на завод ж/д і авто транспортом і подаються на завантажувальні ґрати електромагнітними кранами. Далі, що підводить рольганг, їх транспортує для провішування на ваги, після за допомогою рольганга подаються в піч.

Для нагрівання заготівок використовуються печі із крокуючими балками й торцевим завантаженням і видачою. Для нагрівання використовується природний газ.

У печах заготовки нагріваються до 1150 - 1200 0С. Нагрівання виробляється у два етапи. Різниця температур між заготовками, а також перепад температури в межах однієї заготовки повинна перебувати в дуже вузьких межах щоб уникнути викликаних процесом обтиснення відхилень геометрії й поверхневих дефектів (припустимі відхилення $\pm 20^{\circ}\text{C}$).

Крім того, заготовки в печі повинні нагріватися з таким розрахунком, щоб при вході заготовки в першу кліть були однакові температурні умови від початку

заготовки. Це означає, що в печі повинно бути реалізоване рівномірне підвищення температури нагрівання заготовки, від її переднього кінця, убік заднього, залежно від програми прокатки. Продуктивність однієї печі 140 т/година.

Крокуючими балками заготівлі з печі видаються на внутрішньотрубний рольганг. По рольгангу заготівлі підводять і за допомогою трайб-апарата втягуються в чорнову групу клітей. Чорнові кліті розділені на 2 трьохклітьові безперервні групи, у кожній з яких послідовно встановлені горизонтальні й вертикальні валки.

Між трайбапаратом і першою чорновою кліттю перебувають розривні ножиці. При аварійній ситуації вони блокують подачу заготівлі в стан, що зворотним ходом подається на поворотні ґрати.

Після чорнкової групи встановлені 1 кривошипно-важелеві ножиці. Вони використовуються для обрізки кінців і для аварійної обрізки.

Проміжна безперервна група складається з 6 клітей з горизонтальними й вертикальними валками, розташованих за схемою Г-Г-Г-В-Г-В (В - вертикальна, Г - горизонтальна).

Перед чистовою групою впливають 2 кривошипно-важелеві ножиці. Вони також використовуються для обрізки кінців прокату й для аварійної обрізки. Чистова група має вертикальні й горизонтальні кліті, розташованих за схемою Г-Г-В-В-В-В. Тут уже надається остаточно форма прокату.

Завданням ділянки обробки в потоці є подальша якісна обробка підведеного від ділянки холодильника матеріалу, що прокочується, у відповідній кількості.

Подальша обробка містить у собі технологічні процеси в наступній послідовності:

- багаторучникове виправлення кутової й швелерної сталі;
- відрізка початку й кінця прутків при летучому різанні;
- збір відрізаних кінців;

- пошарове різання пакета прутків холодильника на готові довжини при летучому різанні;
- збір шару прутків готової довжини в пакети із приблизно круговим перетином;
- дозування й штабелювання шарів прутків готової довжини при кутовій і швелерній сталі в стабільні штабелі;
- при потребі роздільний збір останнього шару прутків з холодильника;
- ув'язування пакетів і штабелів в'язальним дротом;
- зважування пакетів і штабелів;
- збір і підготовка пакетів і штабелів для збирання краном.

Готовий прокат надходить на холодильник. По сторонах холодильника прокат розподіляється за допомогою стрілки. Переміщаючись по ґратах холодильника до рольганга, що відводить, матеріал прохолоджується. Для термічної обробки прокату додатково використовується установка термозміцнення, що забезпечує гідротранспорт прокату з необхідною швидкістю з одночасним рівномірним охолодженням його по всій довжині.

Кожна сторона холодильника обладнана двухниточним рольгангом, що відводить, по якому здійснюється подача штанг через 5-ті летучі ножиці до правильних машин ділянки обробки прокату. 5-ті ножиці холодного різання служать для обрізання кінців і різання на довжини вступника з холодильника або правильної машини шару прокату. Різ робиться з холодним прокатним матеріалом, при підвищеній міцності матеріалу температура різання становить близько 400°C.

Ділянка обробки прокату (адьюстаж) складається із двох ідентичних технологічних ланцюжків.

На кожній нитці за допомогою поперечного транспортера по заданій програмі набираються пакети штанг, і подаються до інспекторських стелажів, обладнаним системою магнітних кантувачів, що дозволяють зробити огляд будь-якого профілю сортаменту з будь-якої сторони.

Круглі й квадратні профілі передаються на спеціальні пристрої для пакування.

Пакети фасонних профілів передаються до дозуючих ґрат, перекладаються на два паралельних рольганги й транспортуються до магнітних штабелеукладачів.

При штабелюванні куточків і швелерів пакети, що лежать на паралельних рольгангах, спаровуються, потім двошарова пачка перекладається на стіл, що опускається.

Далі відбувається вв'язування набраних пакетів у пачки. Ув'язані й оформлені пачки забирають за допомогою кранів. Потім готова продукція поставляється замовникам.

2.2 Конструкція кривошипно-важільних ножиць

У середньосортному стані "390" використовуються кривошипно-важільні ножиці у виді високої швидкості прокатки, а також вимог пропонованих за технологією до зрізу заготівлі. У таблиці 2.1 представлені технічні й технологічні характеристики ножиць.

До складу кривошипно-важільних ножиць в основному входять корпус ножиць з начинкою, механізм різання, устаткування для забезпечення ножиць робітничими середовищами й привід. Корпус ножиць виконаний звареною конструкцією й складається з нижніх, середніх і верхньої корпусних частин. У площинах рознімання яких розташовані ножові вали. Приводний вал і обидва проміжні вали встановлені в середньому корпусі. Всі вали встановлені на підшипниках кочення. Ножові вали виконані у вигляді колінчатих валів. Кожний супорт ножа встановлений на цапфі кривошипа відповідного ножового валу, а також у коромислі.

Друге опорне місце коромисла перебуває на нижній / верхній корпусній частині. Всі опорні місця виконані у вигляді опор ковзання із втулками з кольорового металу. За рахунок обертового руху колінчатих валів установлених

на їхніх шейках, супорти, що направляються примусово, ножів виконують певний заданий рух.

Таблиця 2.1 – Характеристики кривошипно-важільних ножиць

Габаритні розміри	
Довжина	2905 мм
Ширина	3550 мм
Висота	2790 мм
Маса	12329 кг
Технічні параметри	
Максимальна потужність живлення	150 кВт
Радіус кривошипа	280 мм
Загальне передаточне число двигун-ножовий вал	12,46
Технологічні параметри	
Перетин розкату	макс. 5100 мм ²
Висота розкату	макс. 100 мм
Швидкість розкату	0,5 – 1,1 м/с
Межа міцності в гарячому стані	макс. 100 МПа
Довжина аварійних шматків	
Розрахункова	1760 мм
Фактична	1350 мм

Для кріплення зубчастих коліс, муфти й маховика на валах застосовується циліндрична поперечна пресова посадка. Для з'єднання корпусних частин один з одним використовуються шпильки й стяжні болти. Затягування стяжних болтів здійснюється гідравлічним пристроєм попереднього затягування, а шпильок і фланцевих болтів - манометричним ключем.

На рис.2.2 наведені схеми ріжучого механізму кривошипно-важільних ножиць. Тверді важелі ABC і A'B'C' шарнірно з'єднані в крапках А і А' з важелями АО і А'О', а в крапках В і В' із кривошипами ВО1 і В'О1', центри яких В і В' обертаються по окружностях навколо центрів О1 і О1'.

При обертанні шарнірів В і В' по окружностях важелі АВ і А'В' будуть гойдатися вправо й уліво разом із сергами АО і А'О'; при цьому ножі, закріплені на коротких плечах твердих важелів ABC і A'B'C', будуть рухатися по складних траєкторіях у вигляді похилих витягнутих еліпсів; на ділянці різання ці траєкторії стають досить пологими, тому ножі будуть рухатися майже

горизонтально поступально, залишаючись паралельними один одному; завдяки цьому площина різання буде вертикальною.

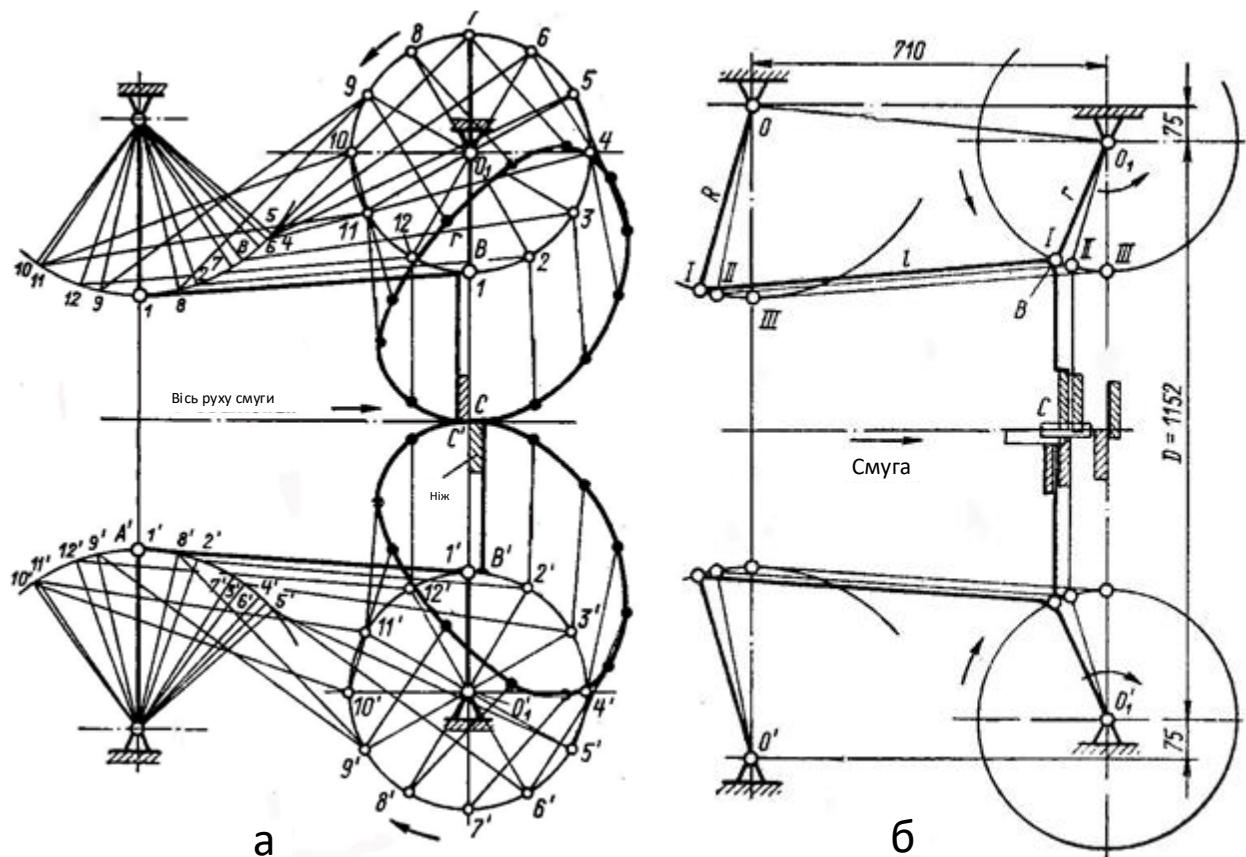


Рисунок 2.2 – Схема побудови еліпсоподібних траєкторій, описуваних ріжучими крайками (а) та схема переміщення ножів у зоні різання (б)

2.3 Експлуатація й режим роботи кривошипно-важільних ножиць

На рис. 2.3 представлена кінематична схема кривошипно-важільних ножиць. По технічних умовах кривошипно-важільні ножиці повинні забезпечувати перпендикулярність перетину смуги, що розрізається, до її осі, при гарній якості перетину, без загинів на кінцях, які утрудняють подачу такої заготовки в наступні кліті стану, а також викликають труднощі при подальшому пересуванні заготовки по рольгангу.

Для забезпечення цих вимог при розрізуванні великих перетинів прокату з великою висотою необхідний паралельно-горизонтальний рух ножів у момент різа, і при цьому швидкість руху ножів повинна бути дорівнює швидкості

заготівлі. Досвід експлуатації показує, що невелике перевищення швидкості ножа над швидкістю прокатки не викликає порушення якості перетину й навіть бажано для кращого відділення.

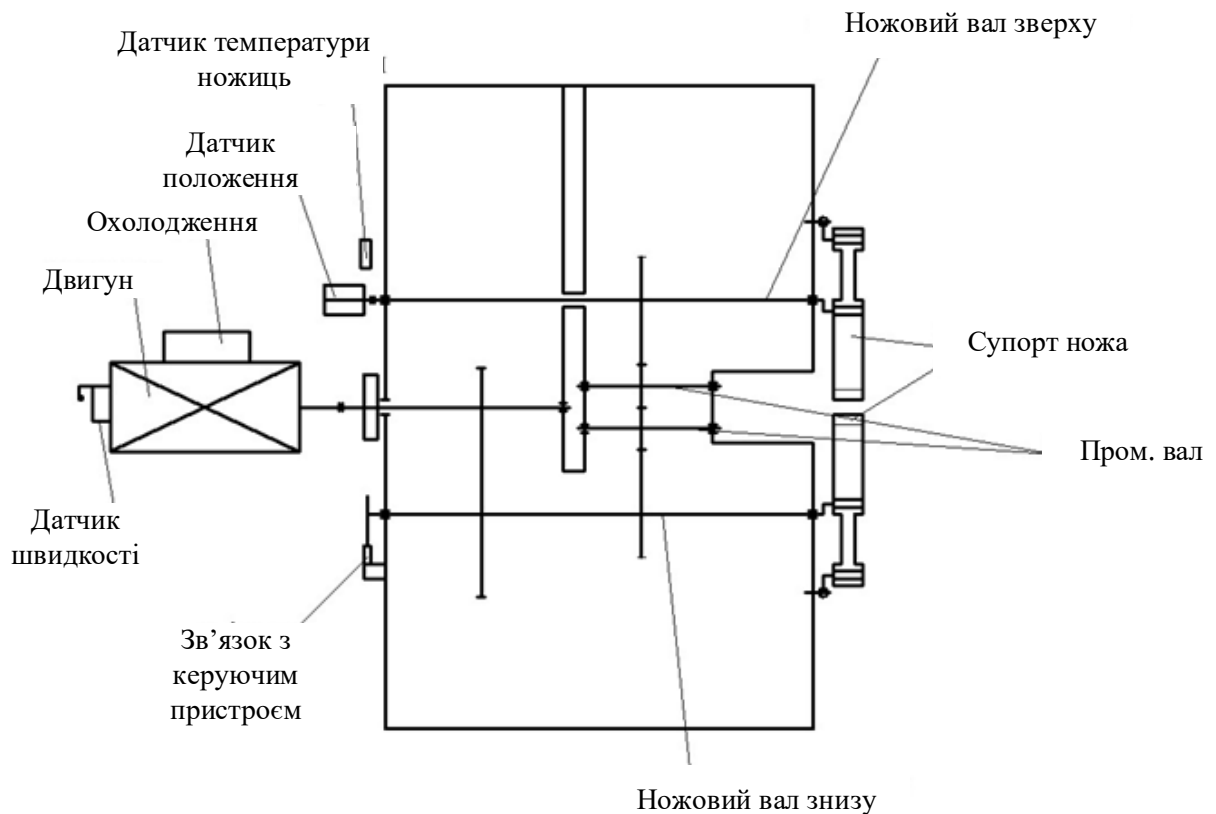


Рисунок 2.3 – Кінематична схема кривошипно-важільних ножиць

Можлива робота із передвибором наступних режимів:

- 1) режим простою;
- 2) режим прокатки;
- 3) режим налагодження;

Кривошипно-важільні ножиці працюють у режимі запусків, якщо здійснюється обрізка передніх і задніх кінців розкату, а в режимі короточасної безперервної роботи, якщо здійснюється аварійне різання (при порушеннях процесу прокатки). Для ремонтів і налагодження встаткування можливе здійснення окремого різ.

Існують наступні кнопкові вимикачі:

- 1) кнопка "Окремий різ" (вкл. регулювання положення);

- 2) кнопка "Аварійне різання" (безперервний режим);
- 3) кнопка "Стоп";
- 4) кнопка "Викл."

Вказівки по зміні ножів. Зміна ножів здійснюється профілактично через певні інтервали. Підшліфування ножів виробляється, як правило, по передній грані, щоб запобігти перекручуванню геометрії, необхідної для установки ножів. Після підшліфування передньої грані ножа варто використовувати більше товсті прокладки для кріплення ножа. Заміну замаркірованих прокладок треба, по можливості, виключити. При настроюванні ножів під час пуско-налагоджувального періоду необхідно врахувати, що внаслідок осідання супортів змінюються розчин і перекриття ножів. Після зміни ножів провести акустичний контроль ножів вхолосту на малій швидкості обертання.

Перший пуск ножиців в експлуатацію. При першому пуску варто звернути увагу на наступні вказівки:

- перевірити всі кріпильні елементи й стяжні болти;
- перевірити міцність з'єднання встаткування з фундаментом;
- перевірити підшипники кочення й зубчасті зачеплення на достатнє забезпечення рідким мастилом;
- перевірити електричну апаратуру на правильне підключення;
- перевірити проведення консистентного змащення й регулювати кількість змащення на дозувальному клапані;
- перевірити водопроводи.

Контроль технічного стану. До початку зміни необхідно перевірити:

- циркуляційну систему рідкого мастила проведенням візуального контролю щільності мастильних проводів і перевіркою тиску масла;
- централізовану систему консистентного змащення й систему водоохолодження;
- контроль ножів і кріпильних деталей на зношування й міцну посадку.

Висновки: в даному розділі було проведено опис технологічного процесу, на даних отриманих з попереднього розділу.

Було охарактеризовано технологію прокатки металу на сортовому прокатному стані 390.

Показано конструкцію кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану та надано особливості експлуатації цього механізму.

РОЗДІЛ 3. ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Розрахунок потужності двигуна та його вибір

За початкові дані візьмемо при показниках а саме максимальна товщина заготовки $h=100\text{мм}$, межа міцності при $900-950^\circ\text{C}$, $\sigma_{\max}=100\text{МПа}$, максимальна швидкість смуги 1.1м/с , радіус кривошипа 280мм .

Визначимо зусилля різання:

$$P = R_1 R_2 R_3 \sigma_{\epsilon} \left(1 - \frac{\epsilon_H}{2}\right) F = 0.75 \cdot 1.2 \cdot 1.4 \cdot 100 \cdot \left(1 - \frac{0.5}{2}\right) 3400 = 321.3 \text{кН}; \quad (3.1)$$

де R_2, R_3 - коефіцієнти, що враховують підвищення зусилля різання при затупленні ножів і збільшенні бічного зазору між ними.

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\epsilon}} = 0.75; \\ R_2 &= 1.2; \\ R_3 &= 1.4. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Знаходимо статичний момент різання.

Кут прикладання зусилля різання:

$$\Delta = 0.4h = 0.4 \cdot 100 = 40\text{мм}. \quad (3.3)$$

Визначимо кут прикладання зусилля різання:

$$\begin{aligned} \cos \beta &= 1 - \frac{\left(h \left(1 - \frac{\epsilon_H}{2}\right) + \Delta\right)}{2R} = 1 - \frac{\left(100 \left(1 - \frac{0.5}{2}\right) + 40\right)}{2 \cdot 280} = 0.795, \\ \beta &= \arccos \beta = 37.3^\circ, \\ \sin \beta &= 0.6. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Визначимо плече прикладання максимального зусилля різання:

$$a = R \cdot \sin \beta = 280 \cdot 0.6 = 168\text{мм}. \quad (3.5)$$

Максимальний статичний момент різання, при ККД приводу $\eta = 0.85$:

$$M_{\text{ст.різ}} = \frac{2Pa}{\eta} = \frac{2 \cdot 321.3 \cdot 0.168}{0.85} = 127 \text{кН} \cdot \text{м}. \quad (3.6)$$

Визначимо потужність різання. Збіг швидкості ножів зі швидкістю смуги досягається регулюванням швидкості електродвигуна при максимальній швидкості смуги $v_n = v_{\text{н}} = 1.1 \text{ м / с}$.

Розрахуємо кутову швидкість ножів:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{v_{\text{н}}}{R} = \frac{1.1}{0.28} = 3.9 \frac{1}{\text{с}}. \quad (3.7)$$

Максимальна статична потужність різання:

$$P_{\text{max різ}} = M_{\text{ст.різ}} \omega_{\text{н}} = 127 \cdot 3.9 = 495.3 \text{ кВт}. \quad (3.8)$$

На основі проведених розрахунків та аналітичного огляду вибираємо двигун постійного струму Siemens серії 1HS7-351-5NF-7MV1 [10], з технічними параметрами що наведені в табл.3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики двигуна 1HS7-351-5NF-7MV1

Параметр	Значення
Потужність	510 кВт
Напруга	520 В
Швидкість обертання	1330 об/хв
Струм	1040 А

3.2 Розрахунок і вибір тиристорного перетворювача й силового трансформатора

Розраховуємо та обираємо тиристорний перетворювач, номінальний струм якого вибирається з умови

$$I_{\text{ном.пр}} \geq I_{\text{ном.дв}} \left(\frac{x_{\text{дв}}}{x_{\text{пр}}} \right), \quad (3.9)$$

де $I_{\text{ном.дв}}$ - номінальний струм двигуна;

$x_{\text{пр}}$ - перевантажувальна здатність перетворювача по струму;

$x_{\text{дв}}$ - перевантажувальна здатність двигуна.

$$I_{\text{ном.дв}} \left(\frac{x_{\text{дв}}}{x_{\text{пр}}} \right) = 1040 \cdot \frac{2.5}{2} = 1300 \text{ А}. \quad (3.10)$$

Вибираємо тиристорний перетворювач Simoreg DC серії 6RA7096 575B, 2200A.[11]

Вибір трансформатора для живлення тиристорного перетворювача здійснюється за розрахунковим значенням фазних струмів у вторинній $I_{2\phi}$ і первинній $I_{1\phi}$ обмотках, вторинної ЕРС і потужності $S_{m.p.}$

Розрахункове значення ЕРС $E_{2\phi}$ трансформатора при роботі перетворювача в режимі безперервного струму перебуває по необхідному випрямленню напруги з урахуванням необхідного запасу на спадання напруги в перетворювачі.

$$E_{2\phi} = K_u K_c K_d K_r U_d = \frac{1}{1.17} \cdot 1.05 \cdot 1.15 \cdot 1.05 \cdot 520 = 563.5B, \quad (3.11)$$

де K_u - коефіцієнт, що характеризує співвідношення $\frac{E_{2\phi}}{E_{d0}}$ або 1/1.17;

K_c - коефіцієнт, що враховує можливі зниження напруги живлення мережі 1.05 - 1.04;

K_d - коефіцієнт, що враховує неповне відкривання тиристорів при максимальному керованому сигналі, при погодженому керуванні 1-1.15;

K_r - коефіцієнт, що враховує спадання напруги в перетворювачі 1.05;

U_d - напруга тиристорного перетворювача.

Розрахункове діюче значення фазного струму вторинної обмотки визначається по випрямленому струму I_d з урахуванням схеми випрямлення.

$$I_{2\phi} = K_i K_{i2} I_d = 1 \cdot 0.577 \cdot 1040 = 600A, \quad (3.12)$$

де $K_i = 1$, $K_{i2} = 0.577$ - коефіцієнт, що характеризує відношення $\frac{I_{2\phi}}{I_d}$ і залежний від схеми випрямлення.

Розрахуємо коефіцієнт трансформації:

$$K_{mp} = 0.95 \frac{U_{1\phi}}{E_{2\phi}} = 0.95 \cdot \frac{520}{563.5} = 0.88, \quad (3.13)$$

де $U_{1\phi}$ - номінальна фазна напруга мережі.

Розрахункове значення діючого фазного струму первинної обмотки трансформатора визначається по струму I_d з урахуванням коефіцієнта K_{mp} .

$$I_{1\phi} = K_i K_{i1} \frac{I_d}{K_{mp}} = 1 \cdot 0.471 \cdot \frac{1040}{0.88} = 557 A, \quad (3.14)$$

де $K_{i1} = 0.471$ - коефіцієнт, що характеризує відношення $\frac{I_{1\phi}}{I_d}$ і залежить від схеми випрямлення.

Розрахункове значення типової потужності, що характеризує витрату активних матеріалів і габаритів трансформатора, визначається як:

$$\begin{aligned} S_{mp} &= 3K_u K_c K_d K_r K_s U_d I_d = \\ &= 3 \cdot \frac{1}{1.17} \cdot 1.05 \cdot 1.15 \cdot 1.05 \cdot 1 \cdot 1.375 \cdot 520 \cdot 1040 = 2417 \text{ кВА}, \end{aligned} \quad (3.15)$$

де $K_s = 1.345$ - коефіцієнт схеми.

Вибираємо трансформатор ТМГ21 3200 кВА [12].

3.3 Опис тиристорного перетворювача

SIMOREG 6RA70 являє собою цифровий компактний перетворювач що підключається до мережі змінного струму й служать для живлення якоря й приводів постійного струму зі зміною швидкості обертання. Модуль електроніки складається з основної електронної плати (рис. 3.1) і з додаткових плат. Діапазон номінального постійного струму перетворювачів простирається від 15 до 2000 А и може бути збільшений за рахунок паралельного включення перетворювачів.

В перетворювача є два режими роботи: реверсивний та нереверсивний. Перетворювачі незалежні завдяки інтегрованій системі настроювання параметрів і не вимагають додаткових пристроїв для визначення цих параметрів. Всі функції керування й регулювання, контрольні й допоміжні функції керуються однією системою мікропроцесорів. Система дозволяє вибирати метод

відтворення інформації в залежності від заданих параметрів, тобто може бути цифровою або аналоговою.

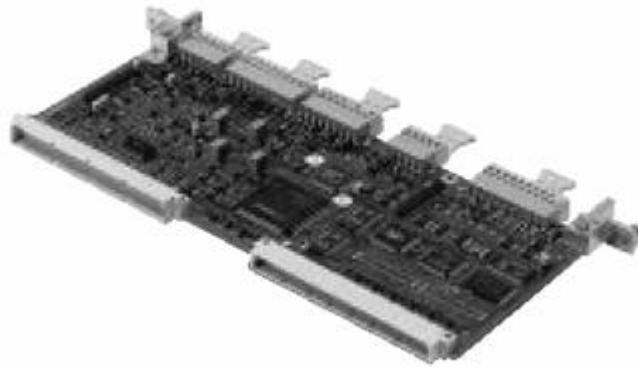


Рисунок 3.1 – Основний електронний блок

Перетворювачі SIMOREG 6RA70 відрізняються компактністю й економією простору для своєї установки. У дверцята перетворювача убудований електронний бокс, що містить у собі модулі регулювання. Цей бокс може бути доповнений модулями для технологічних функцій і послідовних інтерфейсів.

Силова частина: контур якоря й контур збудження. Якірний контур виконаний за мостовою схемою змінного струму:

- у перетворювачах для нереверсивного приводу по повнокерованій мостовій схемі змінного струму В6С;
- у перетворювачах для реверсивного приводу по двох повнокерованих мостових схемах змінного струму (В6) А (В6) С.

Контур порушення виконаний по полукерованій однофазній мостовій схемі В2НЗ. Перетворювачі з номінальним струмом від 15 до 1200 А виконуються ізольованими тиристорними елементами. При цьому корпус тепловідводу не несе на собі потенціалу.

У перетворювачах з номінальним струмом ≥ 1500 А силова частина якірного контуру виконана на таблеткових тиристорах і їх тепловідводи перебувають під напругою. Всі клеми, що підключають, силовій частини доступні попереду.

Перетворювачі з номінальним струмом до 125 А розраховані на повітряне самоохолодження, від 210 А - на посилене повітряне охолодження за допомогою вентилятора.

Всі перетворювачі оснащуються панеллю РМУ (рис. 3.2) на дверцятах приладу. РМУ складається з п'ятиразрядної семисегментної панелі індикації, трьох світлодіодів для індикації стану й трьох кнопок для введення параметрів.



Рисунок 3.2 – Пристрій керування РМУ

Додатково на РМУ перебуває рознімання Х300 з інтерфейсом USS по нормах RS 232 або RS 482. Всі необхідні для запуску узгодження, настроювання й індикації вимірюваних величин можуть бути реалізовані за допомогою РМУ. Три кнопки мають наступні функції:

- Кнопка вибору Перемикач між номером параметра і його значенням і назад, а також квітування повідомлень про помилки.

- Кнопка "Нагору" Вибирає більше високий номер параметра в модулі номерів параметрів або підвищує встановлене й відображене значення параметра в модулі значень параметрів. Додатково до цього можна підвищити індекс при відображеному параметрі.

- Кнопка "Долілиць" Вибір більше низького номера в модусі номерів параметрів, зниження значення параметра в модусі значень параметрів і зниження індексу при відображеному параметрі.

Функції світлодіодів:

1) Ready (готовий): готовність до роботи, світиться в стані "Очікування робочого розблокування".

2) Run (робота): світиться, якщо подано робоче розблокування.

3) Fault (збій): світиться в стані "Є збійне повідомлення", мигає, якщо встановилося "Попередження".

На п'ятиразрядному семисегментному дисплеї відображені величини можуть бути представлені в різній формі. Наприклад:

- відсоток від номінальної величини;
- коефіцієнт підсилення;
- секунди;
- амperi або вольти.



Рисунок 3.3 – Панель керування OPIS

Панель керування OPIS (рис. 3.3). Опціональна панель управління перетворювача OPIS може бути вмонтована або у дверцята перетворювача, або за його межами, наприклад, у дверцята завідувача. Це досягається завдяки підключенню кабелем довжиною від одного до п'яти метрів. При використанні окремого харчування 5У довжина кабелю може бути збільшена до 200 м. Зв'язок

OP1S з SIMOREG виробляється через рознімання X300. Завдяки застосуванню панелі OP1S з'являється економічна альтернатива вимірювальним приладам, звичайно встановлюваним на дверцятах завідувача й службовцем для індикації поточних значень тих або інших фізичних величин. Жк- Дисплей, що має 4 x 16 знаків, показує відкритим текстом позначення параметрів. Тут можна вибрати один з мов: німецький, англійський, французький, іспанський і італійський. OP1S може запам'ятовувати блоки параметрів, які легко можуть бути передані на інший прилад за допомогою DOWN-Load.

Кнопки на OP1S:

- 1) Кнопка вибору (P);
- 2) Кнопка "вище"1);
- 3) Кнопка "нижче";
- 4) Кнопка реверса1)
- 5) Кнопка ВКЛ (EI)1)
- 6) Кнопка ВЫКЛ (AUS)1)
- 7) Кнопка поштовхового режиму (JOG)1)
- 8) Цифрові кнопки (0...9)

9) Світлодіоди на OP1S: зелений - світиться при роботі; мигає при готовності до роботи; червоний - світиться при несправності, мигає при попередженні;

- 10) Кнопка RESET.

Потенціометр двигуна доступний через керуючі функції "вище", "нижче", "уліво/вправо", "ручної/автомат" і містить власний датчик розгону з незалежними друг від друга набудовуються постійними часу розгону й уповільнення, а також обиране округлення. Діапазон налаштування (мінімальна й максимальна вихідна величина) налаштується через параметри. Уведення керуючих функцій виробляється через бінектори. В автоматичному режимі (положення "Авто") вхід потенціометра двигуна визначається через вільно обирану величину (номер конектора). При цьому можна вибрати, чи буде діяти обмеження розгону, або вхід буде діяти прямо на вихід. У положенні "Ручний"

виробляється установка завдання за допомогою функцій "Верх" і "Долілиць". Додатково можна вибрати, чи належний вихід при проваллі напруги встановлюватися на нуль або запам'ятовувати останнє значення. Значення виходу вільно доступно через конектор, наприклад, для використання як головне завдання, додаткового завдання або обмеження.

Джерело завдання швидкості і його додаткових значень може бути заданий через параметрування:

- вказівка через аналогову величину $0 \dots \pm 10U$, $0 \dots \pm 20 \text{ мА}$, від 4 до 20 мА;
- через убудований потенціометр двигуна;
- через бінектор з функціями:
 - фіксоване завдання,
 - поштовховий режим,
 - повзучість;
- через послідовний інтерфейс основного приладу;
- через додатковий модуль.

3.4 Система керування перетворювачем

Принципова схема силової частини керування двигуном зображена на (рис. 3.4). Живлення системи здійснюється від мережі трифазного струму напругою 575 У, що синхронізується з напругою живильної мережі. Припустимі коливання живлячої напруги $+10\% : -15\%$.

Система імпульсно-фазового управління (СІФУ).

СІФУ здатна перетворювати вихідну напругу системи керування U_y в послідовність подаваних на тиристори імпульсів, що відмикають, момент формування яких зміщений щодо моментів природного відмикання на кут, що залежить від U_y .

У сучасних електроприводах СІФУ виконуються у вигляді синхронних багатоканальних, тобто в них виконується відлік кута від моментів природного відмикання для кожного плеча моста (або для кожної пари протифазних плечей).

Система імпульсно-фазового керування складається з кута формування опорних напруг, компараторів керування, що порівнюють напругу, U_u й опорні напруги $U_{оп}$, вузлів, що перетворюють моменти перемикавання компараторів в імпульси керування тиристорами, вузлів обмеження діапазону зміни кута й вихідних підсилювачів

Таблиця 3.2 Технічні дані системи СІФУ

Максимальна вихідна напруга, В	8-10
Напруга синхронізації з трифазною мережею, В	380
Вихідний струм, мА	5
Припустимі комутаційні провали, % град	400
Зміна характеристик в залежності від зміни температури від 1 до 40 С, %	400
Діапазон зміни кута, град	5-170

Система СІФУ гальванічно відділена від силової частини електропривода. У реверсивному електроприводі пристрій роздільного керування забезпечує безструмову паузу не більше 5-7 мс із можливістю її регулювання.

Системи імпульсно-фазового керування електроприводів серії КТЕУ виконані із широким використанням операційних підсилювачів серії ДО 555 ЗДУ2, логічних інтегральних мікросхем серії ДО 511.

Висновки: на основі отриманих даних з попередніх розділів ми провели розрахунок найважливішого обладнання а саме: визначили потужність необхідного двигуна, розрахували та обрали тиристорний перетворювач для керування двигуном а також силовий трансформатор для живлення цієї системи.

РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ, РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ПАРАМЕТРІВ

4.1 Аналіз силової частини електроприводу як об'єкта керування

Автоматизований електропривод повинен включати в себе такі складові: перетворювач, в нашому випадку це тиристорний перетворювач, двигун та механізм. Для досягнення необхідного характеру керування потрібно на вхід перетворювача подавати керуючі впливи. Зазвичай керованою координатою є швидкість двигуна або кут повороту валу двигуна, оскільки система двигун-механізм це двигун-редуктор, що має жорстке з'єднання.

Таблиця 4.1 – Технічні параметри двигуна 1HS7-351-5NF-7MV1

Параметр	Значення
Номінальна потужність	510 кВт
Номінальна частота обертання	1330 об/хв
Номінальна напруга	520 В
Номінальний струм	1040 А
Момент навантаження	3660 Нм
Перевантажувальна здатність	2
Момент інерції	17 кгм ²
Опір якорного кола	17.2 мОм
Індуктивність якорного кола	0.24 мГн

Для коректного аналізу системи керування необхідно створити математичну модель двигуна та органів керування.

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\delta} = k_{\delta} \Phi \omega, \\ E_n = k_n U_y, \\ E_n = E_{\delta} + R_{\gamma} I_{\gamma} + L_{\gamma} \frac{di_{\gamma}}{dt}, \\ M = k_{\delta} I_{\gamma} \Phi, \\ M - M_c = J_{\delta} \frac{d\Omega}{dt}, \end{array} \right. \quad (4.1)$$

де E_o - електрорушійна сила (ЕРС) двигуна, В;

k_o - конструктивний коефіцієнт двигуна;

Φ - магнітний потік, Вб;

E_n - ЕРС перетворювача, В;

k_n - коефіцієнт підсилення перетворювача;

U_y - напруга перетворювача, В;

R_y - активний опір якоря, Ом;

I_y - струм якоря, А;

L_y - індуктивність якоря, Гн;

M - момент двигуна, Нм;

M_c - статичний момент, Нм;

J_o - момент інерції двигуна, кг·м²;

Ω - частота обертання валу двигуна, рад/с.

Для отримання результатів в зручному вигляді та спільності результатів аналізу представимо розрахунки у відносних одиницях.

Обрахуємо ЕРС двигуна:

$$E_o = U_n - R_y I_n - \Delta U_{щ} = 520 - 0.021 \cdot 1040 - 2 = 496.16B \quad (4.2)$$

де $\Delta U_{щ}$ - втрати напруги на щітках двигуна, В;

I_n - номінальний струм двигуна, А;

U_n - номінальна напруга двигуна, В.

$$R_y = k_t R_{y\Sigma} + R_{щ} = 1.24 \cdot 0.0172 = 0.021Om \quad (4.3)$$

де $R_{щ}$ - опір щіток, Ом;

k_t - температурний коефіцієнт;

$R_{y\Sigma}$ - сумарний активний опір якірного кола, Ом.

Визначимо ЕРС перетворювача:

$$E_n = k_e U_c = 1.35 \cdot 520 = 702B \quad (4.4)$$

де k_e - коефіцієнт перетворювача;

U_c - напруга мережі, В.

$$k_n = \frac{E_{\partial 0}}{U_k} = \frac{702}{15} = 46.8 \quad (4.5)$$

де U_k - напруга керування тиристорного перетворювача, В.

Наступним кроком буде розрахунок еквівалентного опору і індуктивності системи тиристорний перетворювач-двигун:

$$R_e = R_{\text{я}} + R_n = 0.021 + 1.2 = 1.221 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

де R_n - активний опір перетворювача, Ом.

$$L_e = L_{\text{я}} + L_n = 0.24 + 3 = 3.24 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.7)$$

де L_n - індуктивність перетворювача, Гн.

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{3.24 \cdot 10^{-3}}{1.221} = 2.65 \cdot 10^{-3} = 0.00265 \text{ с} \quad (4.8)$$

де T_e - стала часу електроприводу.

$$T_j = J_{\partial} \frac{\Omega_n}{M_n} = 17 \frac{140}{3660} = 0.65 \text{ с} \quad (4.9)$$

де T_j - стала часу механізму.

Для представлення рівнянь у відносних одиницях введемо базові величини

$$\begin{aligned} U_{\text{во}} &= E_{\partial} = 496.16 \text{ В} \\ I_{\text{во}} &= I_{\text{я}} = 1040 \text{ А} \\ R_{\text{во}} &= \frac{U_{\text{во}}}{I_{\text{во}}} = 0.477 \text{ Ом} \\ \Omega_{\text{во}} &= 140 \text{ рад / с} \\ M_{\text{во}} &= M_n = 3660 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Рівняння, що описують силову частину електроприводу набувають вигляду:

$$\begin{cases} e_n = k_n u_y, \\ e_n = e_o + r_{\text{я}} i_{\text{я}} + r_{\text{я}} T_e \frac{di_{\text{я}}}{dt}, \\ m = i_{\text{я}} \varphi, \\ e_o = \omega \varphi, \\ m - m_c = T_j \frac{di_{\text{я}}}{dt}, \end{cases} \quad (4.11)$$

де e_n - ЕРС тиристорного перетворювача, в.о.;

k_n - коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача, в.о.;

e_o - ЕРС двигуна, в.о.;

$r_{\text{я}}$ - еквівалентний опір системи, в.о.;

T_e - постійна часу електроприводу, с;

m - момент двигуна, в.о.;

ω - кутова швидкість обертання двигуна, в.о.;

φ - магнітний потік, в.о.;

m_c - статичний момент, в.о.;

T_j - механічна стала часу, с

Обрахуємо коефіцієнт підсилення перетворювача у в.о.:

$$k = \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{во}}} K_n = \frac{7}{496.16} 46.8 = 0.66 \quad (4.12)$$

4.2 Визначення передатних функцій регуляторів

Система керування задана наступними рівняннями:

- регулятором струму

$$\begin{aligned} u &= L(-k_i \tilde{i} - y), \\ \dot{y} &= k_{ii} \tilde{i}, \\ \tilde{i} &= i - i^*, \end{aligned} \quad (4.)$$

де $\tilde{i}$ – похибка регулювання струму, i^* – заданий струм (вихід регулятора швидкості), k_i, k_{ii} – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму;

- регулятором швидкості

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{J}{c} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c \right), \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega}, \\ \tilde{\omega} &= \omega - \omega^*, \end{aligned} \quad (4.)$$

де $\tilde{\omega}$ – похибка регулювання кутової швидкості, ω^* – задана кутова швидкість, $k_\omega, k_{\omega i}$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регулятора швидкості.

Висновки: в даному розділі було описано головний об'єкт дослідження в математичній формі, а також проведено синтез регуляторів для керування цим об'єктом.

РОЗДІЛ 5. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Дослідження систем за допомогою персональних ЕОМ має важливе значення при проектуванні систем ЕП. При цьому найбільш зручним і тому найбільш розповсюдженим є метод математичного моделювання, який має суттєві переваги перед фізичним моделюванням з оглядом на дуже малі потрібні матеріальні затрати.

Сутність метода математичного моделювання полягає у наступному. Замість реального об'єкту розглядається його віртуальний еквівалент – математична модель, яка за основними своїми властивостями повністю адекватна реальному досліджуваному об'єкту. Це дозволяє встановлювати нові властивості процесів в об'єкті шляхом дослідження відповідних процесів у моделі. Математична модель об'єкта створюється на основі математичного опису процесів в ньому. У якості цього опису для неперервних і аналогових систем використовуються системи диференціальних рівнянь.

На основі математичних особливостей об'єкта складена математична модель системи керування електроприводом кривошипно-важільних ножиців, яка дозволяє досліджувати статичні і динамічні режими роботи.

Математична модель системи у блоках програми Simulink програмного пакету Matlab наведена на рисунках (5.1 – 5.4). Синтез регуляторів системи виконаний у відповідності до викладеного у підрозділі 4. У результаті отримали навантажувальну діаграму й тахограму електропривода, які наведено на рисунку (5.5).

При моделюванні розглянемо основні режими роботи привода, а саме:

- розгін до номінальної швидкості,
- гальмування,
- накид навантаження на сталій швидкості,
- скидання навантаження.

Щоб не створювати накопичення графіків будемо робити розгін двигуна до рівня 75% номінальної швидкості, а навантажувати двигун будемо номінальним навантаженням.

Отже, на рисунку (5.5) зображені режими розгону й гальмування й накиду й скидання навантаження. Як видно із графіків на сигналах струму й швидкості відсутнє перерегулювання. Це пов'язане із впливом противоерс двигуна. Звичайно в подібних двоконтурних СА для поліпшення динамічних характеристик вплив противоерс двигуна компенсують яким-небудь способом.

Дані тахограма й навантажувальна діаграма повністю задовольняють умовам і вимогам застосовуваних до даного електропривода.

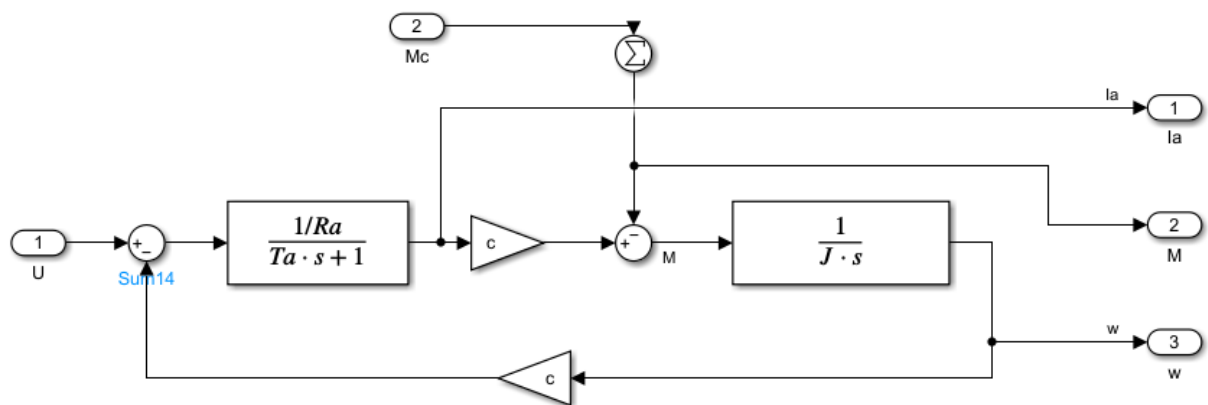


Рисунок 5.1 – Модель ДПС

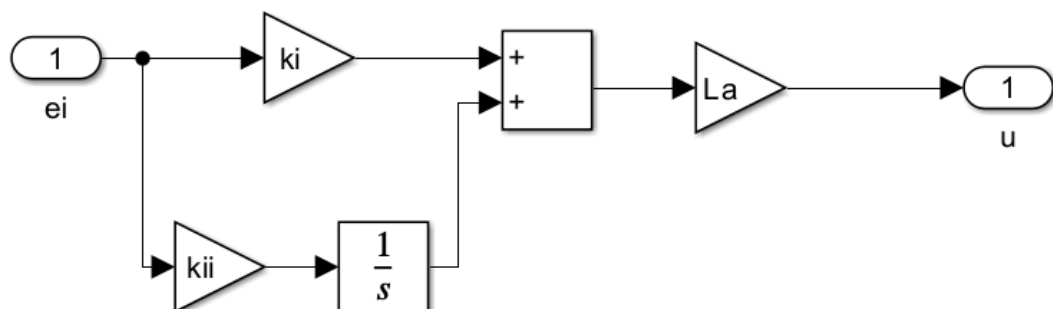


Рисунок 5.2 – Модель ПІ – регулятора струму

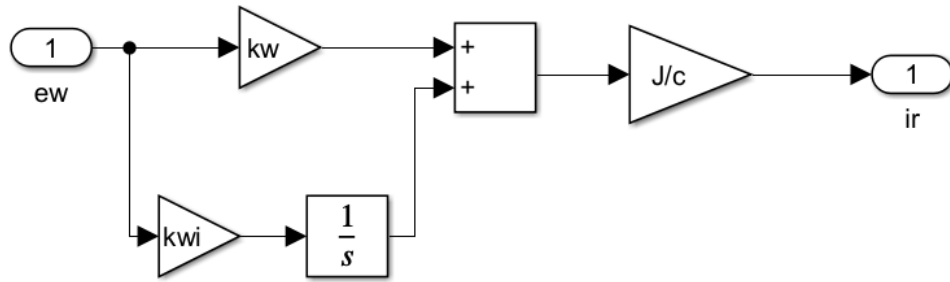


Рисунок 5.3 – Модель ПІ – регулятора швидкості

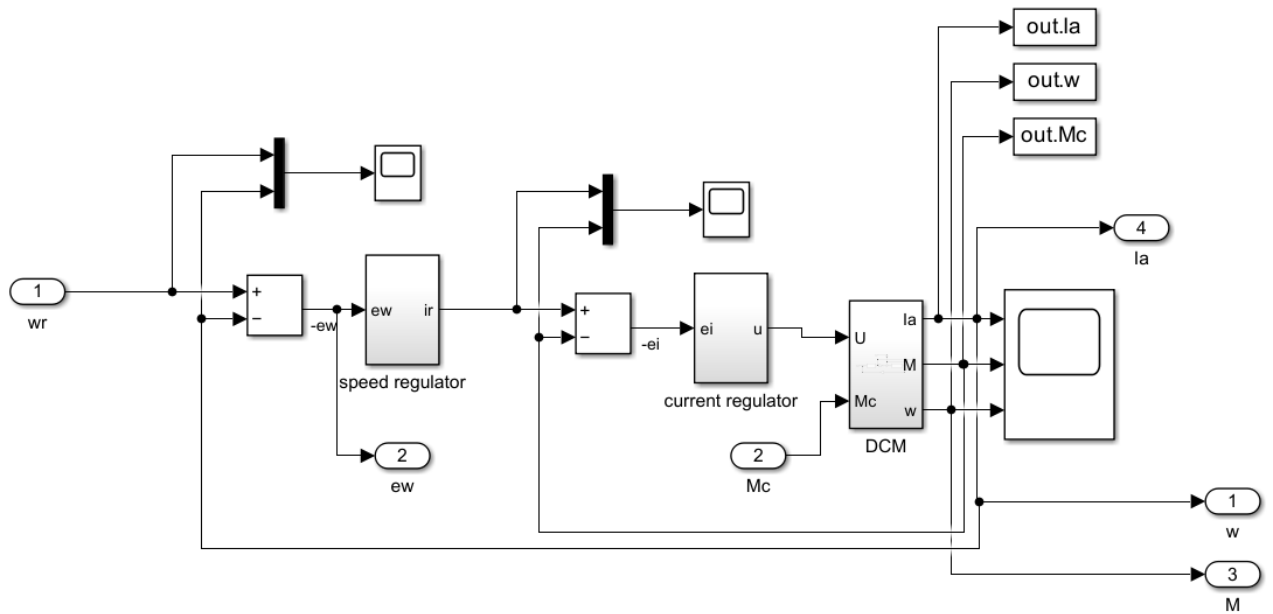


Рисунок 5.4 – Загальна модель

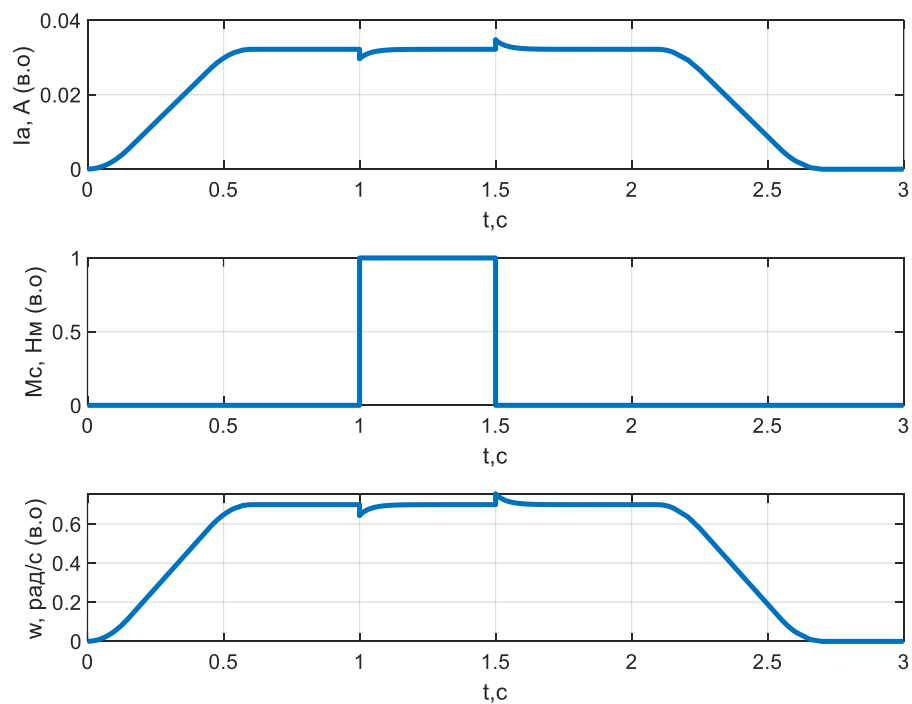


Рисунок 5.5 – Перехідні процеси

Висновки: на основі отриманих даних з попереднього розділу було створено математичну модель системи ТП-ДПС та проведено дослідження роботи системи у віртуальному середовищі MatLab/Simulink.

РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

6.1 Алгоритм автоматизації процесу

Кривошипно-важільні ножиці переважну частину працюють у пуско-гальмівному режимі роботи, при цьому здійснюється обрізка передніх і задніх кінців розкату. В режимі короткочасної безперервної роботи, настає при порушенні процесу прокатки, здійснюється аварійне різання.

Система керування електроприводом побудована за принципом підлеглого регулювання. Головний параметр регулювання - швидкість обертання приводного двигуна, всі інші параметри допоміжні й підлеглі головному.

Готовність системи до початку роботи настає якщо:

- 1) Включена система постачання рідким та консистентним змащенням, водою та електроенергією.
- 2) Внесені параметри різання.
- 3) Відсутні аварійні сигнали.
- 4) Увімкнений швидкодіючий вимикач, на пості керування та в місцевій коробці керування, що сигналізується оптичним сигналом.

Привід ножиців управляється від останньої робочої кліті, що перебуває перед ножицями й бере участь у процесі прокатки, дивлячись у напрямок технологічного потоку. Для самого керування ножицями використовують індикатори розкату.

Якір двигуна живиться від тиристорного перетворювача. Система регулювання здійснює швидкісне регулювання положення, що виконані за принципом підлеглого регулювання, тобто параметр струму підлеглий параметру швидкості.

На рисунку 6.1 представлена схема автоматизації процесу різання. Заготівля виходячи з робочої кліті №12 попадає на короб, що підводить, передні і задні кінці прутків, через індикатор розкату подають імпульс на розгін приводу ножиців (залежно від швидкості). Дійсне значення швидкості руху заготівлі

приходить із шафи SQ21 керування швидкостями клітей подається у вигляді сигналу зворотного зв'язку на вхід перетворювача струму SG21 Simoreg DC. Дійсне значення положення ножів визначається датчиком "копір" IGR.SS, один оборот якого відповідає одному обороту ножиців. Механізм кривошипних ножиців приводиться в рух від регульованого електропривода (ЕП) постійного струму номінальною потужністю 520 кВт. Після одержання команди "старт", що формується засобами автоматизації, починається фаза розгону.

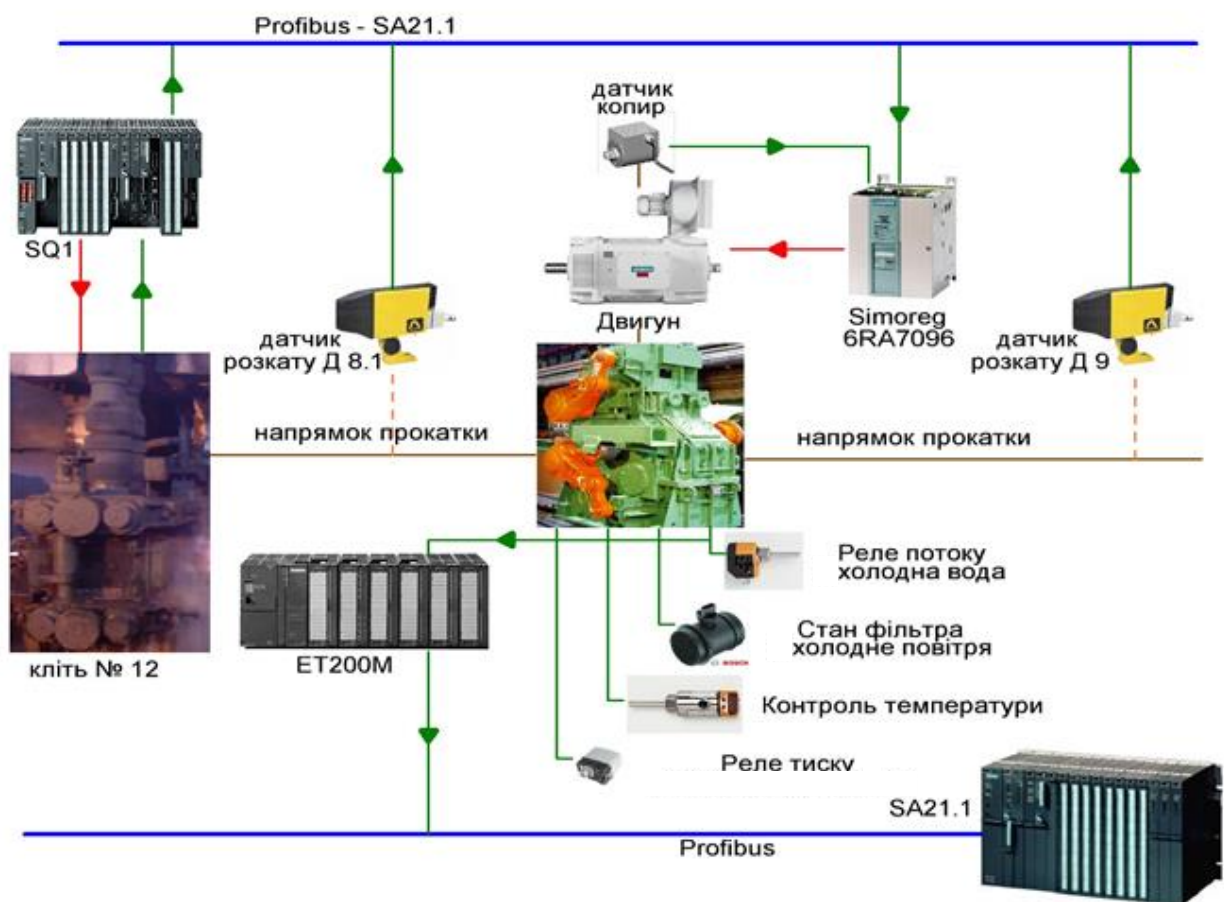


Рисунок 6.1 – Схема автоматизації процесу прокату

Всі параметри різання розраховуються контролером, в залежності від умов різання і передається в систему керування приводом. Ножі з вихідного положення приводяться в обертання до досягнення швидкості обертання, що відповідає швидкості руху розкату. Розгін відбувається з постійним прискоренням до швидкості різа. Імпульс на включення ножиців подається з

таким розрахунком, щоб до моменту зустрічі ножів смуга встигла пройти шлях, дорівнює заданій довжині переднього кінця. Після одержання сигналу імпульсного датчика, що ножиці досягли точки різання, включається контур положення, реалізованої інформаційно-обчислювальними засобами електропривода, забезпечуючи темп гальмування механізму - ножі загальмовуються, включається функція регулювання положення - ножі вертаються у вихідне положення й зупиняються.

Розгін починається надходженням сигналу початку роботи, це можуть бути сигнали «старт», «аварійне різання» і тд. По надходженню такого сигналу система запускає привід електродвигуна і вмикає оптичну сигналізацію. Обов'язковою умовою початку роботи є відсутність сигналу про помилку, аварію, чи неможливість виконати технологічний процес з іншої причини.

6.2 Засоби автоматизації

6.2.1 Індикатор розкату Rota-Sonde DC2000



Рисунок 6.2 – Загальний вигляд індикатора розкату Rota-Sonde DC2000

Даний індикатор призначений для вимірювання наявності гарячого металу, методом сканування інфрачервоного випромінювання виробу за допомогою спеціальних сенсорів.

Складається з оптоелектронної системи, що розміщена в алюмінієвому корпусі та радіатора, що охолоджує пристрій та місцем для монтажу.

Конструкція приладу дозволяє використовувати його у важких умовах навколишнього середовища, наприклад підвищена запиленість, пара, висока температура, механічні вібрації.

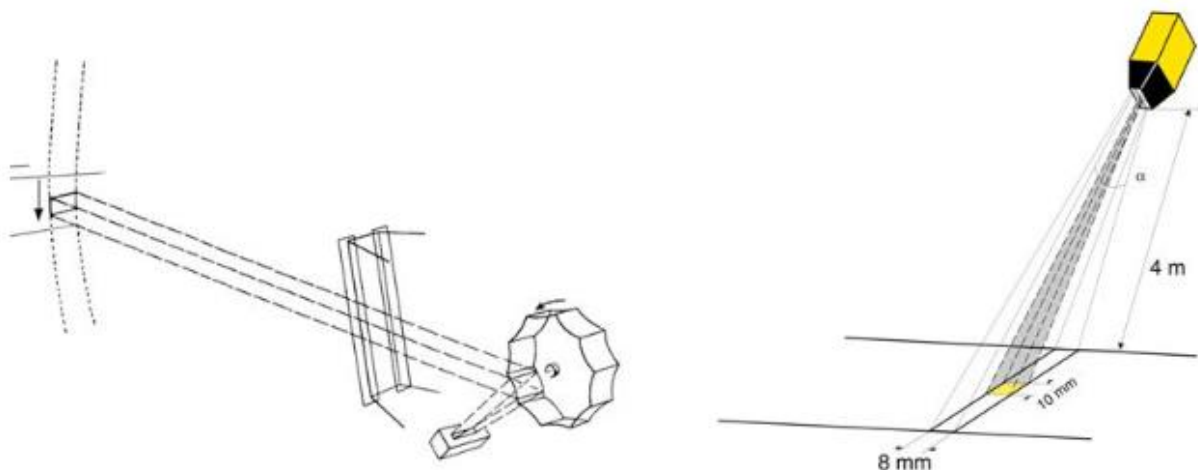


Рисунок 6.3 – Принцип дії

Принцип дії заснований на багатокутному дзеркалі що обертається, та перенаправляє інфрачервоне випромінювання на фотоелемент. [13]

Використання такого типу індикації дозволяє:

- 1) Легко налаштовувати та надійно детектувати метал, незалежно від поперечного положення виробу, завдяки широкому вертикальному куті, що визначає область сканування у вертикальній площині.
- 2) Точність вимірювання завдяки вузькій зоні зору у горизонтальній площині.

3) Надійність вимірювання завдяки наявності невеликої кількості випромінювання.

Ці переваги гарантують точність незалежно від розмірів і температури виробів, положення та віддаленість від площини вимірів.

Rota-Sonde DC2000 має свинцево сульфідний фоточутливий елемент, що може працювати при температурі нижче 400 °С.

Будова являє собою литий герметичний алюмінієвий корпус із спеціальним кожухом, що направляє поле зору. Обладнаний системою повітряного охолодження, що захищає під пилу та бруду. Є можливість дістатися до скла та почистити його. Пристрій для монтажу дозволяє регулювати сенсор в двох площинах, виконаний із пластиною із вбудованим водяним охолодженням. Пластина кріпиться так щоб можна було замінити електронну частину не порушуючи налаштувань пристрою.

До електричних характеристик можна віднести:

- Чутливий фотоелемент що дозволяє детектувати виріб при низьких температур або при наявності водяної пари;
- Легко замінні електронні плати;
- Контрольна панель, що розміщена на задній частині сенсора має: видошукач для простої орієнтації сенсора, один потенціометр, для регулювання чутливості, кнопка TEST для імітації гарячого металу, оптичних індикатор наявності виробу.

До переваг використання даного датчика можна віднести:

- 1) Простота налаштування датчика на виріб;
- 2) Отримання інформації про виріб, незалежно від його положення до сенсору;
- 3) Точне виявлення об'єкту завдяки вузькій вертикальній площині;
- 4) Надійне визначення завдяки невеликого аналізуючого променя;
- 5) Фотоелемент пристосований для роботи у важких умовах металургійного виробництва;
- 6) Простота обслуговування та проведення сервісних робіт.

6.2.2 Станція керування швидкостями клітей

Станція керування швидкостями клітей призначена для реалізації систем контролю й керування основними механізмами прокатного стану виконується на базі контролера Siemens "Simatic TDC" у ручному й автоматичному режимах. Це цифрова система регулювання, що відрізняється дуже високою обчислювальною потужністю й виконанням програм великого обсягу. Вона використовується, зокрема, у виробництві комплектного промислового устаткування, у металургійних і прокатних цехах.



Рисунок 6.4 – Загальний вигляд Simatic TDC

Siemens "Simatic TDC" – це модульна багатопроцесорна система автоматизації для вирішення приводних та технологічних задач з великими обсягами і короткими робочими циклами. Складається з одного або декількох

допоміжних блоків. Блоки оснащені процесорами, периферійними пристроями та комунікаційними модулями.

Система має модульну структуру і легко адаптується до вимогам розв'язуваних завдань щодо своєї продуктивності, набору інтерфейсів підключення датчиків та виконавчих пристроїв, а також комунікаційних інтерфейсів.

Для збільшення продуктивності SIMATIC TDC дозволяє використовувати мультипроцесорні конфігурації з ефективною багатопроцесорною обробкою даних, що синхронізується. Усі модулі у стійці SIMATIC TDC пов'язані через високопродуктивну 64-розрядну внутрішню шину, яка дозволяє виконувати обмін даними між всіма модулями у рамках робочого циклу процесора.

Для розробки проектів SIMATIC TDC використовуються інструментальні засоби пакетів STEP 7, CFC та D7-SYS. Для прискорення виконання проектних робіт можуть використовуватись великі бібліотеки, що включають понад 300 готових функціональних блоків.

При реалізації складних завдань автоматичного керування обмін даними між центральними процесорами різних стійок управління виконується через пам'ять глобальних даних (Global Data Memory – GDM). Ця область пам'яті дозволяє виконувати обмін даними між центральними процесорами до 44 стійок керування. Загальна кількість центральних процесорів у системі може досягати 836 штук.

Пам'ять глобальних даних формується модулями GDM, що встановлюються в окрему монтажну стійку. Завдяки цьому обмін даними виконується виключно швидко.

Обслуговування та введення в експлуатацію систем SIMATIC TDC виробляються через графічний інтерфейс користувача пакетів STEP 7 та CFC. Обсяг підтримуваних функцій визначається способом підключення до системи:

- через інтерфейс MPI забезпечується доступ до всіх центральних процесорів даної монтажної стійки;

- через інтерфейс RS 232 забезпечується доступ лише до одного центрального процесору монтажної стійки.

Системи SIMATIC TDC мають широкі комунікаційні можливості:

- Інтерфейс PROFIBUS DP для підключення приводів і периферійного обладнання.

- Інтерфейс Ethernet TCP/IP для обміну даними з іншими системами автоматизації SIMATIC, системами автоматизації інших виробників, SCADA системами тощо.

- Інтерфейс MPI для виконання операцій програмування, діагностики та обслуговування системи, а також побудови найпростіших мережових структур для обміну даними з системами автоматизації SIMATIC, а також приладами і системами людино-машинного інтерфейсу SIMATIC HMI.

Для розміщення всіх модулів системи керування SIMATIC TDC використовується монтажна стайка UR5213. [14]



Рисунок 6.5 – Загальний вигляд монтажної стайки UR5213

Будова:

- Закритий металевий корпус, що забезпечує надійний захист електроніки від електромагнітних впливів.

- 21 слот для розміщення модулів SIMATIC TDC.

- 3 світлодіоди індикації станів.

- 3 сигнальних реле.
- Відсік для встановлення двох батарей 1.5 В Mignon габариту 1.5 В АА.
- Блок живлення з трьома знімними вентиляторами і вимикачем живлення.

Встановлення/видалення блока живлення і вентиляторів виконується з фронтального боку корпусу.

- Блок моніторингу роботи вентиляторів.
- Вбудована високопродуктивна внутрішня 64-розрядна шина для швидкісного розрядна шина для швидкісного обміну даними між різними модулями. різними модулями.
- Простота встановлення та видалення модулів.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики монтажної стійки UR5213

Вхідна напруга	95...255В, 47...63 Гц
Допустимий обрив живлення	10 мс
Вхідний струм, не більше	10 А
Імпульсний струм, не більше	16 А
Рекомендований захист в колі живлення	16 А автоматичний вимикач, 16 А запобіжник.
Вихідні напруги/струми	+3.3 В / 60 А +5.0 В / 30 А + 12.0 В / 8 А -12.0 В / 8 А
Комутаційна напруга сигнального компонента	230 В
Робоча температура	0...+55°C
Температура зберігання та транспортування	-40...+70°C
Ступінь захисту	IP20
Габарити	482.6 x 354.9 x 342 мм
Маса	20 кг

Модуль центрального процесора високої продуктивності для розв'язання обчислювальних завдань і завдань автоматичного регулювання:

- 64-розрядний RISC процесор із тактовою частотою 500 МГц, cache пам'яттю ємністю 2/3 рівня 2/8 Мбайт і вбудованим співпроцесором арифметики з плаваючою комою.
- Час вибірки від 100 мкс.
- Відсік для встановлення модуля пам'яті MC5xx із програмою управління роботою системи.
- Динамічне ОЗП ємністю 128 Мбайт.
- Статичне ОЗП ємністю 512 Кбайт, захищене буферною батареєю.
- Вісім вбудованих дискретних входів, чотири з яких здатні працювати в імпульсному режимі.
- Вбудована матриця 5x7 світлодіодів.
- Вбудований послідовний інтерфейс RS232 для обслуговування на локальному рівні.
- Вбудований інтерфейс Ethernet з 2-канальним комутатором



Рисунок 6.6 – Загальний вигляд центрального процесора CPU551

Таблиця 6.2 – Технічні характеристики центрального процесора CPU551

Мікропроцесор	64-розрядний RISC процесор, 266/500 МГц, з вбудованим співпроцесором арифметики з плаваючою комою
Пам'ять SDRAM	128 Мбайт
Слот для встановлення модуля пам'яті	MC5xx ємністю 2, 4 , 8 Мбайт
Дисплей	5x7 світлодіодів
Інтерфейс обслуговування	RS 232
Маса	0.6 кг
Дискретні входи	
Кількість	8, 4 з яких здатні фіксувати імпульсні сигнали
Гальванічна розв'язка	Тільки через опціональний інтерфейсний модуль
Вхідна номінальна напруга	24 В
Напруга сигналу низького рівня	-1...+6 В
Напруга сигналу високого рівня	+13.5 ... +33 В
Струм сигналу низького рівня	0 мА
Струм сигналу високого рівня	3 мА
Затримка вхідного сигналу	0.1 мс
Розширення годинника реального часу	0.1 мс

Модуль введення-виведення SM500 оснащений:

- 8 аналоговими виходами,
- 8 аналоговими входами,
- 4 інтегруючими аналоговими входами,
- 16 дискретними виходами,
- 16 дискретними входами,
- 4 інтерфейсами для підключення інкрементних датчиків позиціонування,

- 4 інтерфейсами для підключення датчиків абсолютного переміщення,
- 6 світлодіодами індикації станів модуля.

Підключення зовнішніх ланцюгів модуля SM500 може виконуватися через:

- інтерфейсний модуль SU13 з кабелем SC63 для всіх видів сигналів (без перетворення сигналів, без гальванічного поділу ланцюгів),
- інтерфейсні модулі SB10, SB70, SB71, SU12 з кабелем SC62 для дискретних виходів (з гальванічним поділом ланцюгів),
- інтерфейсні модулі SB10, SB60, SB61, SU12 з кабелем SC62 для дискретних входів (з гальванічним поділом ланцюгів).



Рисунок 6.7 – Загальний вигляд модуля введення-виведення SM500

Комунікаційний модуль з двома інтерфейсами PROFIBUS DP/ MPI і буферною пам'яттю 8 Мбайт для обміну даними між процесорами. Інтерфейси PROFIBUS DP можуть налаштовуватися на роботу в режимі ведучого або веденого DP пристрою. Допускається виконувати одночасне налаштування одного інтерфейсу на режим ведучого, другого інтерфейсу на режим веденого DP пристрою. Обидва інтерфейси можуть використовуватися в режимі MPI.

У режимі MPI забезпечується підтримка PG/OP функцій зв'язку. Це дає змогу здійснювати програмування, конфігурування та діагностику системи, а також підтримувати обмін даними з приладами та системами людиномашинного інтерфейсу.

Два вбудованих інтерфейси PROFIBUS DP:

- Швидкість обміну даними до 12 Мбіт/с.
- Налаштування на режими ведучого або веденого DP пристрою.
- Підтримка мультимастерних режимів роботи.
- Синхронний і асинхронний обмін даними з веденими DP пристроями.
- До 244 байт корисних даних на вузол.
- Підтримка функцій SYNC і FREEZE.
- Підтримка загального набору входів



Рисунок 6.8 – Загальний вигляд комутаційного модуля CP50M1

Комунікаційний модуль для підключення систем SIMATIC TDC до мережі Industrial Ethernet.

Дозволяє виконувати:

- Високопродуктивний обмін даними з іншими системами автоматизації.

Наприклад, із системами автоматизації SIMATIC S7.

- Обмін даними з системами візуалізації. Наприклад, із системою SIMATIC WinCC без використання додаткового програмного забезпечення на стороні SIMATIC WinCC.

- Синхронізацію часу в масштабах всієї системи на основі протоколу NTP.
- Дистанційне конфігурування, програмування і діагностику SIMATIC TDC через мережу з використанням STEP 7, CFC і SFC.

- Дистанційне виконання пуско-налагоджувальних робіт.
- Обмін даними з іншими системами на основі транспортних протоколів TCP/P і UDP.

CP51M1 здатний підтримувати обмін даними:

- з іншими комунікаційними модулями CP51M1,
- з комунікаційними модулями Industrial Ethernet сімейства SIMATIC,
- головними комп'ютерами.



Рисунок 5.9 – Загальний вигляд комутаційного модуля CP51M1

Комунікаційний модуль із вбудованими оптичними інтерфейсами та буферною пам'яттю:

- для підключення систем SIMATIC TDC до систем SIMADYN D;
- для підключення системи SIMATIC TDC до двох інших стійок SIMATIC TDC.



Рисунок 6.10 – Загальний вигляд комутаційного модуля CP53M0

6.2.3 Модульна станція ET200M

Модульна станція систем розподіленого введення-виведення зі ступенем захисту IP20.

Широка гама інтерфейсних модулів:

- для безпосереднього підключення станції до електричних (RS 485) каналів зв'язку PROFIBUS DP зі швидкістю обміну даними до 12 Мбіт/с;
- для безпосереднього підключення станції до електричних каналів зв'язку PROFINET IO зі швидкістю обміну даними до 100 Мбіт/с.

До 12 сигнальних, функціональних і комунікаційних модулів програмованого контролера S7-300 на станцію.

Використання аналогових модулів з підтримкою протоколу HART.

Використання всієї гами сигнальних F модулів програмованого контролера S7-300F, підтримка профілю PROFI-safe під час роботи в складі розподілених систем протиаварійного захисту та забезпечення безпеки на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP.

Робота в складі резервованих систем розподіленого вводу-виводу програмованих контролерів SIMATIC S7-400H/FH на базі мережі PROFIBUS DP.

Робота в кільцевих мережах PROFINET IO.

Підтримка функцій «гарячої» заміни модулів при використанні активних шинних.

Підтримка технології CiR (Configuration in RUN) і тактової синхронізації.

Наявність сертифіката на відповідність категорії 3 для Ехзон 2 за АTEX100а.

Повна інтеграція в системи керування безперервними процесами SIMATIC PCS 7. [16]

Склад модулів і виконання станції.

Станція ET 200М має модульну конструкцію і включає до свого складу:

- Один інтерфейсний модуль IM 153. При підключенні до резервованої мережі PROFIBUS DP станція може комплектуватися двома інтерфейсними модулями IM 153-2 HF. [17]

- До 12 сигнальних, функціональних і комунікаційних модулів S7-300 на одну станцію ET 200М, виключаючи комунікаційні процесори для підключення до мереж PROFIBUS DP і PROFINET/ Industrial Ethernet.

- Один або два модулі блоків живлення S7-300.

Станції ET 200М випускаються у двох виконаннях:

1) SIMATIC ET 200М знайшов своє використання у стандартних промислових умовах:

- монтаж у шафи керування внутрішньої установки;
- відсутність конденсату;
- діапазон робочих температур від 0 до +60 °С.

2) SIPLUS ET 200М для експлуатації у важких промислових умовах:

- монтаж у шафи керування внутрішньої або зовнішньої встановлення;
- можливість появи конденсату та обмерзання друкованих плат і електронних компонентів;
- наявність у повітрі хімічно, біологічно та механічно активних речовин;
- ширший діапазон робочих температур, що визначається типами використовуваних модулів.

Модулі можуть мати одні і ті самі типи виконань. SIMATIC і SIPLUS extreme виконують однакове функціональне призначення, однаковий набір електричних і часових параметрів, однакові схеми під'єднання зовнішніх кіл, однакові настановні розміри та способи монтажу і відмінностями між ними є допустимі умови експлуатації.



Рисунок 6.11 – Загальний вигляд модульної станції ET200M

Станція SIMATIC ET 200M має модульну конструкцію і включає до свого складу:

- Один або два (підключення до резервованої мережі PROFIBUS DP) інтерфейсних модулів IM 153.
- До 12 сигнальних, функціональних і комунікаційних модулів S7-300 на одну станцію ET 200M.
- Один або два (за потреби) модулі блоків живлення.

Сигнальні, функціональні та комунікаційні модулі встановлюються праворуч від інтерфейсного модуля і можуть розташовуватися в будь-якому порядку і в будь-якому поєднанні. Обмеження на допустимий склад використовуваних модулів накладають функціональні можливості інтерфейсних модулів.

Безпосереднє підключення станції:

- до мережі PROFIBUS DP виконується через інтерфейсні модулі IM 153-1 або IM 153-2 HF;

- до мережі PROFINET IO через інтерфейсні модулі IM 153-4 PN ST або IM 154-3 PN HF.

Формування внутрішньої шини станції може виконуватися двома способами:

- з використанням стандартних профільних шин S7-300 і U-подібних шинних з'єднувачів, що входять до комплекту постачання модулів S7-300 (повна аналогія з конструкцією програмованого контролера S7-300);
- з використанням спеціальних профільних шин ET 200M і активних шинних з'єднувачів.

У першому випадку всі модулі станції встановлюються на профільну шину S7-300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Кожен модуль містить вбудовану ділянку внутрішньої шини станції. Об'єднання цих ділянок у загальну шину здійснюють за допомогою U-подібних шинних з'єднувачів, що входять до комплекту постачання сигнальних, функціональних і комунікаційних модулів S7-300.

Функції «гарячої» заміни модулів у цьому разі не підтримуються.

Конфігурація з активними шинними з'єднувачами дає змогу здійснювати «гарячу» заміну модулів без зупинки станції. Активні шини з'єднуються профільною шиною ET 200M, з'єднуються між собою через вбудовані роз'єми і формують внутрішню шину станції. На останній активний шинний з'єднувач встановлюється ізолюційний матеріал, що захищає електричні ланцюги внутрішньої шини станції.

У мережі PROFIBUS DP станція ET 200M виконує функції стандартного веденого DP-пристрою, у мережі PROFINET IO функції стандартного приладу вводу-виводу. Обсяг підтримуваних функцій залежить від типу використовуваного інтерфейсного модуля.

Конфігурування, програмування та діагностика каналів введення-виведення станції ET 200M виконується тими самими способами, що і для входів-виходів системи локального введення-виведення програмованих контролерів SIMATIC S7.

Обмін даними здійснюється спеціальними мережевими інтерфеусними модулями станції та інтерфейсним модулем провідного мережевого пристрою. Залежно від типів використовуваних модулів забезпечується підтримка безлічі діагностичних функцій, за допомогою яких можна контролювати:

- 1) Справність модулів вводу-виводу станції.
- 2) Короткі замикання та обриви в зовнішніх колах модулів.
- 3) Помилки в передаванні даних.
- 4) Наявність напруги живлення $=24\text{ В}$.
- 5) Встановлення та видалення модулів станції.

Результати діагностики можуть аналізуватися:

- Світлодіодами на фронтальних панелях модулів станції ET 200M.
- Дистанційно, за допомогою центрального процесора провідного мережевого пристрою.

Під час роботи в мережі PROFIBUS під керуванням програмованого контролера S7-400 станція ET 200M здатна підтримувати технологію CiR (Configuration in RUN), яка дозволяє:

- 1) Змінювати кількість станцій ET 200M, що використовуються в системі розподіленого вводу-виводу.
- 2) Змінювати кількість модулів у будь-якій станції ET 200M.
- 3) Змінювати параметри налаштування модулів кожної станції ET 200M.

6.2.4 Контролер SIMATIC S7-400

Пристрій S7-400 є найбільш потужним програмованим контролером сімейства SIMATIC. Він дає змогу успішно розв'язувати різноманітні завдання автоматизації за системою Totally Integrated Automation (TIA). S7-400 є платформою автоматизації для системних рішень у сфері виробничих і технологічних процесів, характеризується модульною конструкцією та високою продуктивністю.

Особливості конструкції та можливості модифікації роблять ці системи вигідними для створення на їх основі системи автоматизації. Це такі особливості Будова з модулів, особисте охолодженням, можливість застосування структур локального і розподіленого вводу-виводу, широкі комунікаційні можливості, безліч функцій, що підтримуються на рівні операційної системи.

Процесори різної продуктивності, дозволяють підвищити ефективність контролерів, сюди ж відноситься широкий вибір модулів вводу-виводу, дискретних та аналогових сигналів, комунікаційних процесорів та функціональних модулів.

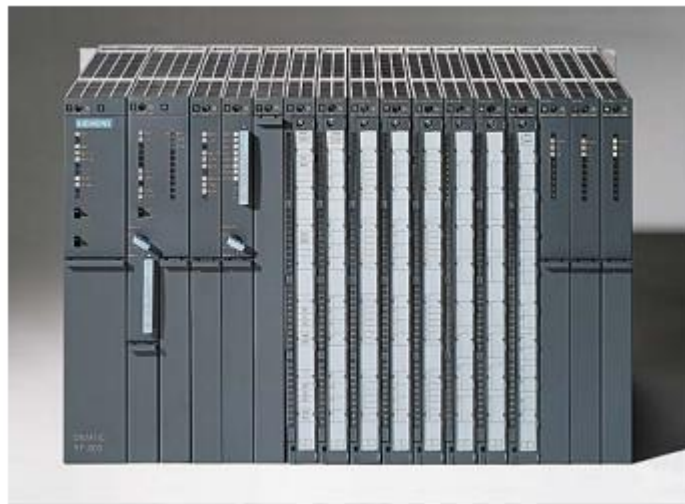


Рисунок 6.12 – Загальний вигляд контролеру SIMATIC S7-400

Існують такі типи модифікацій контролера:

SIMATIC S7-400:

- Потужні програмовані котролери для побудови систем керування середнього та високого ступеня складності.
- Вирішення практично будь-яких завдань керування.
- Широкий спектр модулів і широка гама центральних процесорів для максимальної адаптації до вимог розв'язуваного завдання.
- Висока гнучкість, що забезпечується простотою використання систем розподіленого введення-виведення і потужними комунікаційними можливостями.

- Зручність обслуговування, робота з природним охолодженням.
- Гнучкі можливості розширення в міру розвитку об'єкта управління.

SIMATIC S7-400H:

- Програмовані контролери з резервованою структурою, що забезпечують високу надійність функціонування системи керування.
- Для застосування в галузях, що висувають підвищені вимоги до надійності функціонування системи керування.
- Резервування всіх основних функцій.
- Високий коефіцієнт готовності системи вводу-виводу, що забезпечується застосуванням перемикаємих конфігурацій системи введення-виведення.
- Можливість використання стандартних конфігурацій систем введення-виведення.
- Гаряче резервування: автоматичне ненаголошене перемикання на резервний блок у разі відмови провідного бока.
- Конфігурації на основі двох стандартних або однієї спеціалізованої монтажною стійки.
- Використання резервованих мереж PROFIBUS-DP для побудови конфігурацій, системи вводу-виводу.[18]

SIMATIC S7-400F/FH:

- Побудова систем безпечного керування (систем ПАЗ).
- За необхідності: використання резервованих структур, що підвищують надійність функціонування системи керування.
- Без використання додаткових робіт на монтаж ланцюгів вводу-виводу систем безпечного керування: застосування високо надійного зв'язку через PROFIBUS-DP з використанням профілю PROFISafe.
- Основою є використання компонентів S7-400H та станцій розподіленого вводу-виводу ET 200M з модулями безпечного управління (F-модулями).
- Можливість застосування стандартних модулів для вирішення стандартних завдань автоматизації, не пов'язаних із завданнями безпечного керування.

Основними областями застосування SIMATIC S7-400 є:

- Машинобудування.
- Автомобільна промисловість.
- Складське господарство.
- Технологічні установки.
- Системи вимірювання та збору даних.
- Текстильна промисловість.
- Пакувальні машини та лінії.
- Виробництво контролерів.
- Автоматизація машин спеціального призначення.

Завдяки своїй високій надійності SIMATIC S7-400H може використовуватися:

- У системах з високими витратами на перезапуск виробництва в разі відмови контролера.
- У системах із високою вартістю простою.
- У процесах обробки цінних матеріалів (наприклад, у фармацевтичній промисловості).
- У системах без постійного контролю з боку обслуговуючого персоналу.
- У системах з невеликою кількістю обслуговуючого персоналу.

Програмовані контролери S7-400F/FH призначені для побудови систем безпечного керування, в яких виникнення відмов не тягне за собою появу небезпеки для життя обслуговуючого персоналу і не призводить до забруднення навколишнього природного середовища.

SIMATIC S7-400 є універсальним контролером. Він відповідає найвищим вимогам промислових стандартів, забезпечує високий рівень електромагнітної сумісності та відрізняється підвищеною стійкістю до ударів і вібрацій.

Встановлення та заміну модулів контролера можна проводити без вимкнення живлення («гаряча заміна»).

1. Модуль блока живлення.
2. буферна батарея.

3. Ключ вибору режимів роботи центрального процесора.
4. Світлодіоди індикації станів і відмов.
5. Карта пам'яті.
6. Захисні дверцята фронтальних з'єднувачів із маркуванням зовнішніх ланцюгів.
7. Центральний процесор №1.
8. Центральний процесор №2.
9. Модуль FM 456-4 (сімейство M7).
10. Модуль розширення M7.
11. модулі введення-виведення.
12. інтерфейсні модулі.

Система автоматизації S7-400 має модульну конструкцію.

Великою перевагою є модульна конструкція, що дозволяє компонувати обладнання в залежності від технічного завдання.

Система включає до свого складу:

- Модулі блоків живлення (PS): застосовуються в підключенні SIMATIC S7-400 до джерел живлення 24/ 48/ 60/ 120/ 230В або ~120/ 230В.
- Модулі центральних процесорів (CPU) входять до складу контролера та можуть використовуватися центральними процесорами різного призначення та продуктивності. Головна комунікація здійснюється вбудованими інтерфейсами PROFIBUS-DP.
- Сигнальні модулі (SM) слугують та підтримують функцію введення-виведення дискретних і аналогових сигналів.
- Комунікаційні модулі (CP): для організації послідовного передавання даних за PtP інтерфейсом, а також мережевого обміну даними.
- Функціональні модулі (FM): призначені для виконання спеціалізованих завдань автоматизації та керування, таких як підрахунок, позиціонування, автоматичне регулювання тощо.

За необхідності в складі S7-400 можуть бути використані:

- Інтерфейсні модулі (ІМ): для зв'язку базового блоку контролера зі стійками розширення. Один базовий блок контролера SIMATIC S7-400 підтримує підключення до 21 стійки розширення.

- Модулі SIMATIC S5: усі модулі вводу-виводу контролерів SIMATIC S5-115U/-135U/-155U можуть встановлюватися у відповідні стійки розширення SIMATIC S5. Крім того, модулі спеціального призначення IP і WF можуть використовуватися як у стійках SIMATIC S5, так і в базовому блоці контролера SIMATIC S7-400. У цьому випадку підключення модулів до внутрішньої шини контролера S7-400 здійснюється за допомогою адаптера.

Простота конструкції S7-400 істотно підвищує його експлуатаційні характеристики:

- Можливість монтажу модулів в довільному порядку підвищує мобільність системи та її зручність у використанні.

- Уся комунікація здійснюється за допомогою вбудованої паралельної шини, що виконує функцію швидкісного обміну даними і сигнальною інформацією великих обсягів.

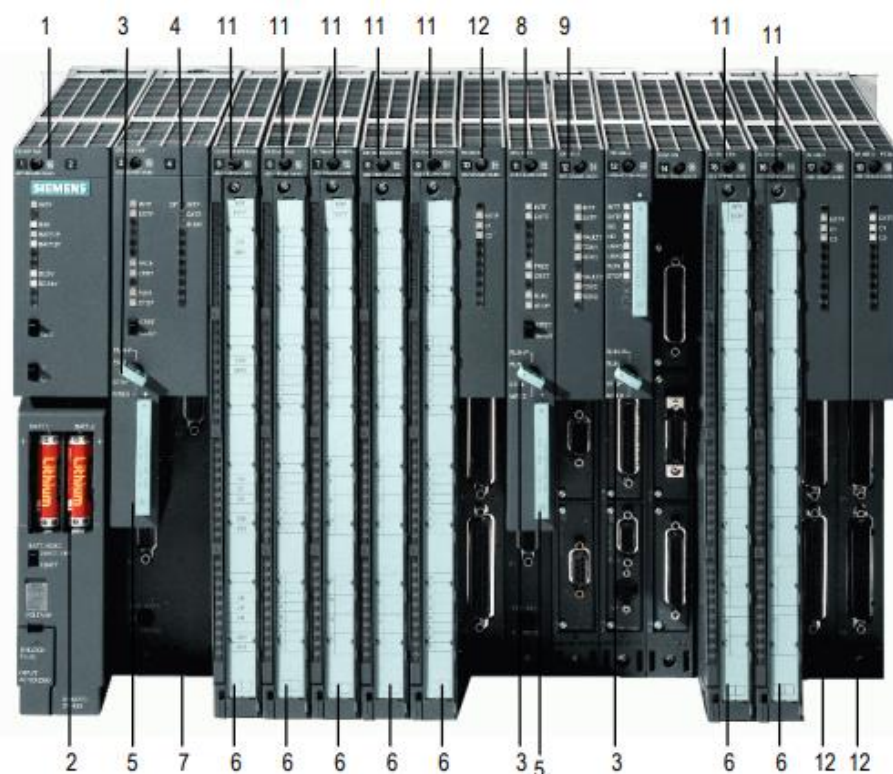


Рисунок 6.13 – Будова контролера

У системах розподіленого вводу-виводу на основі PROFIBUS DP всі нові моделі центральних процесорів S7-400, а також центральні процесори попереднього покоління з операційною системою від V3.1 і вище здатні підтримувати режим тактової синхронізації (ізохронний режим). Цей режим забезпечує можливість синхронізації циклів виконання програми користувача із циклами вводу-виводу даних пристроїв розподіленої периферії. Зчитування вхідних сигналів і видача керуючих впливів виробляється через однакові інтервали часу в межах одного циклу виконання програми контролера. Підтримка ізохронного режиму істотно розширює припустимі сфери застосування систем розподіленого вводу-виводу, дозволяє успішно вирішувати завдання побудови розподілених систем керування переміщенням і присохлим, вимірювальних систем, систем автоматичного регулювання й т.д. Наприклад, застосування ізохронного режиму дозволяє створювати системи із синхронним обертанням валів декількох електродвигунів, що не мають між собою механічного зв'язку.

Програматори й персональні комп'ютери, оснащені пакетом STEP 7, панелі оператора й комп'ютерні системи людино-машинного інтерфейсу в мережі PROFIBUS DP здатні підтримувати тільки PG/OP функції зв'язку.

Висновки: в даному розділі запропоновано алгоритм автоматизації досліджуваної системи та проведено опис головного обладнання для реалізації системи автоматизації електроприводу кривошипно-важелевих ножиць сортового прокатного стану.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА СТАРТ-АП ПРОЕКТУ

7.1 Теоретичні аспекти

Для сучасної України важко говорити про можливості подальшого розвитку металургійного виробництва, але необхідно дивитися в майбутнє із чітким уявленням про розвиток, розширення та розповсюдження кращих технологій що полегшить роботу на виробництвах та збільшить кількість робочих місць.

Механізми, типу кривошипно-важільних ножиць, що приймають активну участь у формуванні металевих прокатів, часто мають низький рівень автоматизації, що впливає безпосередньо на якість, кількість та швидкість отримуваної продукції. Що призводить до значного зниження ефективності та підвищеного зношення обладнання.

Впровадження системи автоматизації передбачає покращити всі показники продуктивності системи, за рахунок використання сучасних технологій автоматизації.

7.2 Ідея стартапу

Головна мета даного стартапу – розробка та впровадження сучасних технологій у металургійне виробництво, а саме в систему керування електроприводом кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану.

Впровадження таких систем передбачає:

- Підвищення точності відпрацювання технологічного процесу;
- Підвищення швидкості отримання готової продукції;
- Стійкість роботи;
- Покращення контролю, сигналізації, ідентифікації поломок та вирішення позаштатних ситуацій;
- Легку інтеграцію в існуючі прокатні стани;

- Легке тестування та мобільність систем;
- Розвиток даних технологій для іншого металургійного обладнання;
- Створення робочих місць для населення.

7.3 План реалізації

Першим кроком є аналіз та планування. Необхідно ознайомитися із обладнанням до якого планується створення системи автоматизації. Вивчення технологічного процесу, переваг та недоліків та перспективи монтажу, інтеграції та переміщення систем автоматизації. Необхідно отримати всю технічну інформацію про стан обладнання, його експлуатацію та термін використання.

Важливою частиною є визначення вимог до електроприводу та системи керування, що формуються на основі даних, отриманих на основі протікання технологічного процесу.

В результаті проведення аналітичної частини проекту ми можемо створити технічне завдання на проектування системи автоматизації.

Наступним кроком є етап розробки. Все починається із створення математичної моделі системи автоматичного керування та аналіз перехідних процесів, та поведінки системи на віртуальному обладнанні. Після тестування віртуальної системи необхідно підібрати обладнання що задовольнить параметри системи.

Етап тестування та впровадження включає в себе створення, на основі теоретичних розрахунків, реальної моделі, що є прототипом. Відповідно лабораторні випробування прототипу. Адаптація системи до умов, що максимально наближені до умов справжньої експлуатації. Інтеграція системи на пілотному об'єкті для корегування та внесення останніх правок. Створення загальної схеми по розробці обладнання такого типу, щоб була можливість швидше створювати рішення для нових замовлень. Підготовка до введення в експлуатацію на реально об'єкті. Невід'ємною частиною є створення станції моніторингу чи перевіряти систему особисто, збираючи дані про продуктивність

та ефективність розробленої системи. Масштабування чи створення нового проекту.

7.4 Переваги

Головною перевагою є підвищення продуктивності систем обробки на металургійних підприємствах.

Підвищення ефективності та точності, в результаті чого виросте якість продукції.

Оптимізація енергоефективності та стану обладнання. За рахунок використання сучасного обладнання контролю енергоспоживання та систем захисту від позаштатних ситуацій попереджає вихід обладнання з робочого стану та оптимізація використання електричної енергії на підприємстві.

За рахунок підвищення якості та продуктивності, знижується простій обладнання, що призводить до збільшення коштів що надходить до підприємства.

Легка адаптація та інтеграція системи автоматизації для різних типів прокатних станів і модернізація для інших типів обладнання в залежності від технічного завдання.

7.5 Бізнес-модель

1) Продаж готових рішень. Реалізація розроблених рішень для існуючих підприємств в Україні, для підприємств що будуть побудовані в майбутньому або ж для закордонних підприємств.

2) Надання обслуговування та сервіс власній продукції або ж готовим рішенням інших компаній. Надання гарантії на наше обладнання, що зробить для клієнта хорошою перевагою та можливість вчасно вирішити поломки та зменшення заробітку.

7.6 Потенційні ризики

Системи автоматизації електропривода кривошипно-важільних ножиць несе за собою складність адаптації до важких умов роботи підприємства при великих навантаженнях, температурах, запиленості та вібрацій.

Конкуренція з іншими постачальниками.

Необхідність значних вкладень на етапі розробки та інтеграції.

Висновок: розробка системи автоматичного керування електроприводом кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану дозволяє значно покращити параметри якості, ефективності та продуктивності механізму та протікання технологічного процесу, зменшення витрат на ремонт та сервіс обладнання. Завдяки унікальним технологічним рішенням стартап має високі шанси на успішний вихід на ринок оскільки металургійна промисловість має потенціал до швидкого зростання після стабілізації українських ринків.

ВИСНОВКИ

Дослідження даної роботи спрямовувалося на покращення технологій виробництва металевого прокату, підвищення продуктивності та ефективності таких систем як електропривод кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану, за рахунок створення системи автоматизації електропривода.

В пешому розділі надано детальну інформацію про основні поняття прокатної технології. Описано види металевого прокату та технології що їх виготовляють. Надано класифікацію ріжучого обладнання, таке як летючі ножиці, основною метою яких є розрізання металевого профілю на бруси потрібної довжини. Описано режими роботи та види електроприводу цих механізмів, що дозволило створити вимоги до електроприводу летючих ножиць.

В другому розділі охарактеризовано технологію прокатки на сортовому прокатному стані 390. Головну увагу приділено конструкції кривошипно-важільних ножиць, оскільки це механізм головного дослідження роботи. Виділено особливості експлуатації та режимів роботи досліджуваного механізму.

На основі проведеної аналітичної роботи було розраховано потужність необхідного двигуна та за цими параметрами було обрано двигун постійного струму Siemens серії 1HS7-351-5NF-7MV1. В додачу до нього прораховано та обрано тиристорний перетворювач та силовий трансформатор, для керування обраним двигуном та його живленням.

В четвертому розділі досліджуваний об'єкт представили у вигляді математичної моделі та в додачу провели синтез регуляторів струму та швидкості для двигуна постійного струму.

В результаті було зібрано математичну модель системи ТП-ДПС у програмному середовищі MatLab/Simulink та надано перехідні процеси одного технологічного різку.

В шостому розділі запропоновано алгоритм автоматизації та обладнання що доцільно використовувати для металургійної промисловості. Проведено опис

головного обладнання що приймає участь в автоматизації електроприводу кривошипно-важільних ножиць сортового прокатного стану. Виділо що таке обладнання має низку переваг а саме: легкість в експлуатації, підвищення виміральної точності та мобільність системи.

Важливою частиною є створення стартап проекту що може показати доцільність використання систем автоматизації для металургійних підприємств. Головною задачею є створення технічних рішень з автоматизації для металургійної промисловості, зокрема механізмів летючих ножиць.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Літовченко П.І., Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник. **ст. 35 – 50**
2. Опальчук А.С., Котречко О. О., Роговський Л.Л, Семеновський О.Є., Роговський І.Л. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.
3. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Похиленко Г.М. Технологія обробки металів і сплавів тиском. Навчальне видання. ст. 6-22
4. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Бородай В.А. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: 2010 р., ст. 6 - 73
5. Поздовжня прокатка. Методичні вказівки до лабораторної роботи №3. Рец. канд.техн.наук, доцент Чухно С.І. Укл. канд.техн.наук, доц. Молчанов В.Ф., ст.вик. Музичка Д.Г. ст. 5-7
6. Максименко О.П., Лясота С.М., Романюк Р.Я. Теорія процесів прокатного, трубного, ковальсько-штампувального та волочильного виробництв. Дніпродзержинськ: 2009 р., ст. 6-7
7. Єршов С.В. Вступ до спеціальності. Металургія. Конспект лекцій. Дніпродзержинськ: 2015 р., ст. 11-12
8. Методичні вказівки до практичних занять. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1175295/mod_resource/content/1/Практич_ні.pdf (дата звернення: 03.10.2024)
9. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Автоматизований електропривод» для студентів спеціальності 7.05070204 – електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Укл. Кажан В.Є., Нежурін В.І., Ніколенко А.В., Стьопкін В.В. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013 р.
10. Двигун постійного струму Siemens серії 1HS7-351-5NF-7MV1. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/387/109763387/att_972109/v1/da12-2008-en.pdf (дата звернення: 20.10.2024)

11. Simoreg DC Master. Інструкція по використанню. URL: <https://vecgroup.com/assets/pdf/katalog-privod-postoyannogo-toka-siemens-simoreg-dc-master.pdf> (дата звернення: 25.10.2024)
12. Силовий трансформатор ТМГ21 3200 кВА. URL: <https://metz.by/transformatory-silovye-maslyanye/transformator-tmg21-3200kva/> (дата звернення: 27.10.2024)
13. Скануючий детектор гарячого металу Rota-Sonde DC2000. URL: <http://ria-groupp.com.ua/delta/6/> (дата звернення: 15.11.2024)
14. SIMATIC TDC hardware. System manual.
15. SIMATIC TDC multiprocessor control system. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/9990124> (дата звернення: 25.11.2024)
16. SIMATIC Distributed I/O device ET 200M. Operating Instructions.
17. SIMATIC ET 200M for SIMATIC PCS 7. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Products/10398162> (дата звернення: 30.11.2024)
18. Automation System S7-400 Hardware and Installation **Installation** Manual.