

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Алексюка Андрія Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод трайбапарату дротового стану.

(повна назва теми)

за матеріалами з ДС-150-1 прокатного виробництва

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Чорний О.П.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 12.06 2026 р. № 384-ск

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«____» _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ(КИ)

Алексюку Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод трайбапарату дрогового стану
керівник випускної роботи Чорний Олексій Петрович

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

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

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Вимоги до привода трайбера дрогоу: перерегулювання $\sigma \leq 6\%$; час перехідного процесу $t \leq 0,1\text{с}$; статизм $\Delta \leq 5\%$; діапазон регулювання швидкості (до 10:1); точність підтримки швидкості 1-2%; мале динамічне падіння швидкості (не більше 5%) і малий час регулювання (порядку 0,1с).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Аналітична частина. Надати інформацію про склад, призначення та основні характеристики технологічного устаткування стану. Проаналізувати недоліки існуючого управління. 4.2 Основна частина. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна. Обґрунтування і вибір системи регулювання приводом трайбапарату. Моделювання статичних та динамічних режимів системи електропривода. Розглянути заходи щодо пожежної безпеки, охорони й організації праці при роботі в умовах дрогового стану, надати висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Кінематична схема трайбапарату ВРБ.141.238-ст.01.К1. Схема електрична функціональна ВРБ.141.238-ст.01.Е2. Схема електрична структурна математичної моделі розімкнутої системи ВРБ.141.238-ст.01.Е1.1. Схема

електрична структурна ВРБ.141.238-ст.01.Е1.2. Графіки перехідних процесів ВРБ.141.238-ст.01.Е1.2. Схема електрична принципова ВРБ.141.238-ст.01.Е3.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Чорний О.П.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Чорний О.П.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	22.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	29.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	02.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	16.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Алексюк А.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Чорний О.П.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.141.238-ст.01.К1			Кінематична схема	1		
2					трайбапарату			
3								
4	A3	ВРБ.141.238-ст.01.Е2			Схема електрична	1		
5					функціональна			
6								
7	A3	ВРБ.141.238-ст.01.Е1.1			Схема електрична	1		
8					структурна математичної			
9					моделі розімкнутої системи			
10								
11	A3	ВРБ.141.238-ст.01.Е1.2			Схема електрична	1		
12					структурна			
13								
14	A3	ВРБ.141.238-ст.01.Е1.2			Графіки перехідних	1		
15					процесів			
16								
17	A3	ВРБ.141.238-ст.01.Е3			Схема електрична	1		
18					принципова			
19								
20	A4	ВРБ.141.238-ст.01.ПЗ			Пояснювальна записка	68		
21								
22								
23								
24								
					ВРБ.141.238-ст.01.ВР			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод трайбапарату дрогового стану. Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Алексюк А.М.					4	1
Пров.		Чорний О.П.						
Н.контр.		Чорний О.П.						
Затв.		Модло Є.О.				ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-23ск		

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки до бакалаврської роботи: 68 с., 19 рисунків, 5 таблиць, 13 джерел.

Об'єкт розробки - електропривод трайбапарата в умовах ДС-150-1 прокатного виробництва.

Мета роботи - синтез і дослідження системи автоматичного керування електроприводом трайбапарата стану ДС-150-1.

Метод дослідження та апаратура - експериментальне та теоретичне дослідження проводили з використанням сучасних методів математичного аналізу та розрахунку.

Виконано аналіз основних характеристик технологічного процесу виробництва катанки.

В роботі досліджено розімкнену систему електропривода. Встановлено, що вона не відповідає вимогам до статичних і динамічних показників, тому виконана оптимізація регуляторів.

Розроблено електропривод за схемою «тиристорний перетворювач - двигун» постійного струму. Система характеризується високою швидкодією та задовільним ККД.

Ефективність розробленої системи автоматичного регулювання підтверджено результатами імітаційного моделювання в MATLAB/Simulink.

Ключові слова: електропривод, моделювання, підпорядкована система керування, тиристорний перетворювач, трайбапарат.

ЗМІСТ

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Основні відомості про технологічний механізм, загальний вид, кінематика і режими роботи.....	9
1.1.1 Загальна характеристика дротового стану 150-1	9
1.1.2 Сортамент стана	11
1.1.3 Технологічний процес виробництва прокату.....	14
1.1.4 Основні технічні характеристики трайбапарата	18
1.1.5 Принцип роботи трайбапарата	20
1.1.6 Кінематична схема механізму	22
1.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода	24
1.2.1 Вимоги до електропривода	24
1.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна.....	25
1.3.1 Дані механізму.....	25
1.3.2 Розрахунок статичних моментів.....	25
1.3.3 Вибір двигуна	26
1.4 Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту	27
1.4.1 Вибір тиристорного перетворювача.....	27
1.4.2 Вибір живильного трансформатора	27
1.4.3 Вибір згладжуючого дроселя.....	29
1.5 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок.....	29
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	35
2.1 Обґрунтування і вибір системи регулювання приводом трайбапарату	35
2.2 Вибір елементів і розрахунок регуляторів аналогової системи	39

2.2.1 Розрахунок параметрів регулятора струму	40
2.2.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	41
2.3 Розробка і опис електричної принципової схеми системи керування та її елементної бази	42
2.4 Моделювання статичних та динамічних режимів розімкненої системи електропривода.....	46
2.5 Моделювання та аналіз статичних та динамічних режимів замкненої системи в пуско-гальмівних режимах та при навантаженні.....	49
2.6 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.....	56
2.6.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика цеху СПЦ-1	56
2.6.2 Аналіз основних шкідливих та небезпечних чинників СПЦ-1	56
2.6.3 Заходи по зниженню і усуненню шкідливих та небезпечних	58
2.6.4 Розрахунок освітленості	60
2.6.5 Вибір засобів індивідуального захисту.....	61
2.6.6 Вибір і розрахунок санітарно-побутових приміщень і обладнання .	63
2.6.7 Пожежна безпека.....	63
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Безперервний дротовий стан 150-1 виготовляє катанку та сортовий прокат у мотках. Технологія базується на нагріванні й прокатці квадратних заготівель перетином 125×125 мм або 150×150 мм з відповідних марок сталі [1].

Сучасні виробничі процеси містять операції, спільні для різних галузей промисловості. Зокрема, доставка сировини та напівфабрикатів до технологічних агрегатів і переміщення виробів між операціями обробки - типові задачі транспортних систем металургійних підприємств.

Трайбапарат встановлюють безпосередньо перед першою кліттю і забезпечує транспортування та задавання нагрітих заготівель у двонитковій клітці стану.

Приводи подібних механізмів виконують реверсивними і розраховують на повторно-короткочасний режим роботи. Під час кожного циклу відбуваються перехідні процеси: пуск, реверс, гальмування. Ці процеси суттєво впливають на продуктивність агрегату та ККД установки. Отже, до електропривода висувають підвищені вимоги з надійності та безпеки [2]. Технічна досконалість приводу визначає продуктивність механізму і зручність технічного обслуговування.

Мета роботи - розроблення системи автоматичного керування електроприводом трайбапарату дротового стану ДС-150-1. Для досягнення мети вирішено такі завдання: обрано схему електропривода; синтезовано аналогову систему керування; досліджено характеристики замкненої та розімкненої систем. Акцент зроблено на синтезі регуляторів координат - струму та швидкості.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Основні відомості про технологічний механізм, загальний вид, кінематика і режими роботи

1.1.1 Загальна характеристика дротового стану 150-1

На безперервному дротовому стані 150-1 виробляють катанку та сортовий прокат у мотках шляхом нагрівання і прокатки квадратних заготівель перетином 125×125 мм або 150×150 мм з відповідних марок сталі [1].

До складу дротового стану входять: нагрівальна піч, 14 горизонтальних клітей дуо, чотири горизонтальні та чотири вертикальні кліті міні-блоків, два десятиклітьові дротові блоки, установка двостадійного охолодження катанки та обладнання хвостової частини [1].

Робочі кліті об'єднано у такі групи: чорнова група - 8 клітей;

I проміжна - 6 клітей;

II проміжна - 2 групи з двома міні-блоками по 4 кліті в кожному;

чистова - 2 групи, кожна з десятиклітьовим блоком (5 вертикальних і 5 горизонтальних клітей).

Прокатка в чорновій і першій проміжній групах ведеться у дві нитки; у другій проміжній групі та чистових блоках - в одну нитку.

Схема розташування основного технологічного обладнання стану наведена на рис. 1.1.

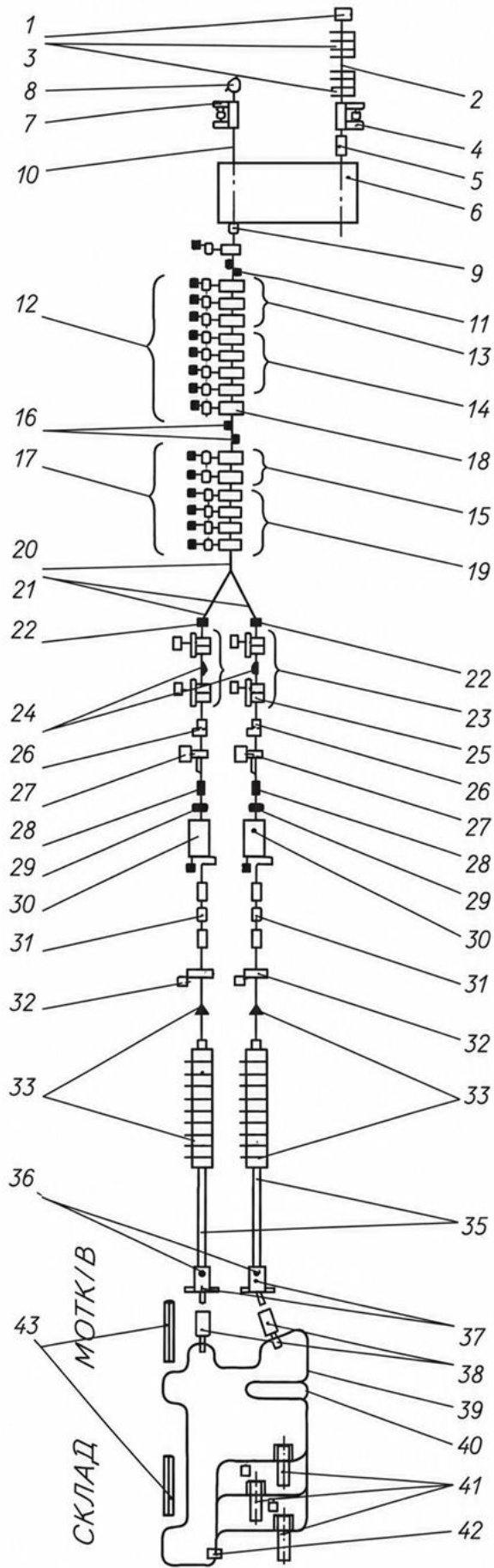


Рис. 1.1. Схема розташування обладнання безперервного дротового стану 150-1 [1]

1 - завантажувальні ґрати; 2 - відповідний рольганг; 3 - упор; 4 - зіштовхувачі зі збірним стелажем; 5 - рольгангові ваги; 6 - нагрівальна піч; 7 - відповідний рольганг; 8 - зіштовхувачі зі збірним стелажем; 9 - рольганг зі стрілкою; 10 - трайб-апарат; 11 - двониткові розривні ножиці; 12 - чорнова група клітей; 13 - кліті дуо 670; 14 - кліті дуо 490; 15 - кліті дуо 390; 16 - скрапні кривошипні ножиці; 17 - перша проміжна група клітей; 18 - кліті дуо 390; 19 - кліті дуо 340; 20 - розподільна стрілка; 21 - напрямні з петлеутворювачем; 22 - односторонні розривні ножиці; 23 - друга проміжна група клітей; 24 - вертикальний петлеутворювач; 25 - прокатні мініблоки «2 × 215»; 26 - лінія водяного охолодження; 27 - універсальні ножиці; 28 - горизонтальний петлерегулятор (петльовий стіл); 29 - утримувальні ножиці; 30 - десятикліткові чистові блоки «170/150»; 31 - ділянка водяного охолодження; 32 - трайб-апарат; 33 - виткоукладач; 34 - вентиляторна система охолодження; 35 - роликівий транспортер; 36 - рольганг прибирання витків; 37 - виткозбірник (накопичувач витків); 38 - навантажувальний візок; 39 - гаковий конвеєр; 40 - інспекційна ділянка; 41 - пристрої для підпресування та обв'язування мотків; 42 - ваги; 43 - кроковий транспортер.

Обладнання інших проміжних груп, чистових блоків і транспортерів витків розміщено на відмітці 5620 мм. Склад заготівель, зони завантаження, чорнова та перша проміжна групи, зона обробки мотків і склад готової продукції знаходяться на відмітці ± 0 мм.

Максимальна швидкість прокатки становить 120 м/с, розрахункова робоча швидкість - 23-110 м/с залежно від прокатуваного профілю.

До складу стану входять: система двостадійного охолодження прокату, механізована лінія збирання та пакетування продукції, автоматизована система управління прокаткою і контролю розкату, а також локальні регулятори технологічних агрегатів.

1.1.2 Сортамент стану

Дротовий стан 150-1 виробляє катанку та круглу сортову сталь діаметрами від 5,5 до 14 мм за ДСТУ 2590, і арматурну сталь таких самих діаметрів відповідно до чинних стандартів та технічних умов. Маса мотка - до 2 т.

Сортамент стану наведено в табл. 1.1.

Технологія прокатки й технічні характеристики стану забезпечують такі допуски на діаметр:

- катанка 5,5мм - 9мм плюс 0,1 мм, мінус 0,2 мм
- сталь кругла Ø 10мм – 14мм.....плюс 0,1 мм, мінус 0,3 мм
- арматурна сталь Ø 5,5мм – 14мм.....плюс 0,3 мм, мінус 0,5 мм

Овальність не перевищує половини суми граничних відхилень на діаметр.

Сортамент ДС-150-1

№ П/П	Найменування прокатної продукції	Нормативна документація		
		Розміри	Хім. склад	Технічні вимоги
1	2	3	4	5
1	Катанка з вуглецевої сталі звичайної якості	<u>5,5 мм - 9 мм</u> ДСТУ 30136 (ДСТУ 2770) ДСТУ 2590	Ст 0-ст3 (всіх ступенів розкислення) ДСТУ 30136 (ДСТУ 2770) ДСТУ 380 (ДСТУ 2651)	ДСТУ 30136 (ДСТУ 2770)
2	Катанка сталева канатна	<u>5,5 мм - 9 мм</u> ДСТУ 2590 ДСТУ 3683	<u>35-75</u> ДСТУ 3683	ДСТУ 3683
3	Сортовий і калібрований прокат зі спеціальною обробкою поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі	<u>5,5 мм - 9 мм</u> <u>10 мм - 14 мм</u> ДСТУ 2590	ДСТУ 1050	ДСТУ 1050
4	Прокат для холодного видавлювання й висадження з якісної нелегованої та легованої конструкційної сталі	<u>5,5 мм - 9 мм</u> <u>10 мм - 14 мм</u> ДСТУ 2590	Всі марки ДСТУ 3684	ДСТУ 3684

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
5	Прокат з ресорно-пружинної вуглецевої і легованої сталі	5,5 мм - 9 мм <u>10 мм – 14 мм</u> ДСТУ 2590	60 Г, 60 С2 ДСТУ 14959	ДСТУ 14959
6	Катанка для зварювального дроту з маловуглецевої сталі	<u>5,5 мм - 9 мм</u> ТУ 14-15-345-94 ДСТУ 2590	Св-08, Св-08А ДСТУ 2246	ТУ 14-15-345-94
7	Катанка для зварювального дроту з легованої сталі	<u>5,5 мм - 9 мм</u> ТУ 14-15-345-94	Св-08 ГС, Св-12 ГС, Св08 Г2С ДСТУ 2246	ТУ 14-15-346-94
8	Сталь горячекатана для армування залізобетонних конструкцій	<u>5,5 мм - 14 мм</u> ДСТУ 5781	<u>кл А-1 (А240)</u> ДСТУ 5781	ДСТУ 5781
9	Сортовий і фасонний прокат зі сталі вуглецевої звичайної якості	<u>10 мм - 14 мм</u> ДСТУ 2590	Ст 0-ст6 ДСТУ 380 (ДСТУ 2651)	ДСТУ 535
10	Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій	<u>5,5 мм - 14 мм</u> ДСТУ 3760	кл А240 С ДСТУ 3760	ДСТУ 3760

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
11	Катанка з вуглецевої сталі звичайної якості для пакування та інших цілей	<u>5,5 мм - 9 мм</u> ТУ 14-15-338-94 ДСТУ 2590	Ст0, кат.1, Ст 1-ст3 (всіх ступенів <u>розкислення</u>) ТУ 14-15-338-94 ДСТУ 380 (ДСТУ 2651)	ТУ 14-15-338-94
Примітка. У процесі виробництва сортамент і нормативна документація можуть уточнюватись і змінюватись у встановленому порядку.				

1.1.3 Технологічний процес виробництва прокату

Відповідно до виробничого замовлення пратцен-крани укладають підготовлені заготівлі на розкладкові пристрої завантажувальних грат в один ряд [1]. Розкладкові пристрої покроково переміщують шар заготівель по завантажувальним градам.

Поодинокі подача заготівель на підвідний рольганг забезпечується передавальним пристроєм. Дефектні заготівлі зіштовхувач автоматично виводить на збірний стелаж складу.

Зупинені висувним упором заготівлі зважують вагами, вбудованими в останню секцію рольганга. У разі несправності ваг масу визначають розрахунковим методом відповідно до [2].

Ритм подачі заготівель у піч із крокуючими балками залежить від фактичною продуктивністю печі, що залежить від маси вихідної заготівлі й циклу роботи крокуючих балок. Нагрів заготівель відбувається у методичній печі з крокуючими балками. Завантаження та видача здійснюються з боку торця.

У разі потреби розвантажити піч або при аварії в лінії стану нагріті заготівлі виводять через трайбапарат і відвідний рольганг. Зіштовхувач передає їх на стелаж, де після охолодження їх прибирають краном.

Двониткові розривні ножиці перед першою кліттю виконують ділильний різ у разі несправності нитки, запобігаючи подачі заготівлі в чорнову групу. Під час прокатки заготівель 125×125 мм ножиці виводять з роботи.

Стан працює у дві нитки у чорновій та першій проміжній групах і в одну нитку - у других проміжних групах і чистових десятиклітьових блоках.

Кількість проходів регламентується таблицями калібрування відповідно до геометрії прокатуваного профілю. Перемикання між нитками виконується пневматичною стрілкою, встановленою після першої проміжної групи.

Між чорною групою і чистовими блоками ножиці обрізають передні та задні кінці розкату. При аварії ті самі ножиці ділять розкат на мірні відрізки.

Залежно від профілю, що прокочується, розкат з першої проміжної групи передається в другу або без натягу (з петлерегулюванням), або з мінімальним натягом, який підтримує автоматика. Петля підтримується вертикально за допомогою напрямних з петлеутворювачами. В II проміжній групі прокатка виконується в чергуючихся горизонтальних і вертикальних клітках міні-блоків без натягу розкату, з петлерегулюванням між міні-блоками. Величина вертикальної петлі підтримується автоматично петлерегуляторами з використанням імпульсів від фотоелектричних головок.

Кліті, які не задіяні в поточній програмі прокатки, виводять з технологічного потоку та встановлюють замість них спеціальні проводки або ринви.

Налаштування на прокатку потрібного профілю виконується відповідно до виробничого завдання.

Кількість задіяних клітей регламентується таблицями калібрування та режимами обтиснень, які розробляє і затверджує калібрувальне бюро комбінату.

Після другої проміжної групи клітей розкат круглого перетину діаметром 17-22 мм подається через передавальну проводку у чистовий блок.

Передній кінець розкату обрізають на універсальних ножицях і задають у блок через автоматичний горизонтальний петлерегулятор, що підтримує задану петлю.

Задній кінець розкату обрізають ножицями до входу в петлерегулятор. Перед першими секціями чистових блоків встановлено утримуючі ножиці, що запобігають скупченню недокатів при аварії.

При аварії на ділянці «чистовий блок - виткоукладчик» утримуючі ножиці відтинають розкат. Подачу припиняють, а залишок ділять на мірні відрізки та відправляють в обрізь.

У чистових блоках прокатка ведеться по чергово в горизонтальних і вертикальних клітках-касетах без кантування розкату.

Після чистових блоків прокат охолоджується водою на ділянці завдовжки 38 м (перша стадія охолодження). Залежно від програми прокатки ділянка набирається з різної кількості охолоджувальних труб і форсунок - до 7 пристроїв.

Після кожної охолоджувальної секції встановлено дві відсікальні форсунки - водяну і повітряну. Тиск охолоджувальної води - до 0,8 МПа, стисненого повітря - до 0,4 МПа.

Після водяного охолодження прокат потрапляє на виткоукладчик, що укладає його у вигляді плоскої спіралі на рухомий конвеєр зі швидкістю до 120 м/с. Перед виткоукладчиком стоїть трайбапарат для рівномірної подачі металу. Швидкість конвеєра регулюється по зонах від 0,05 до 1,2 м/с: мала швидкість - щільне укладання, велика - розріджене.

На роликовому конвеєрі витки прокату проходять другу стадію охолодження - регульоване обдування повітрям у теплоізолювальному тунелі з кришками.

Витрату повітря регулюють кількістю ввімкнених вентиляторів та частотою обертання їх приводів. Максимальна продуктивність 17 вентиляторів на одній нитці - 735 тис. м³/год.

Параметри повітряного охолодження визначаються технологічною інструкцією «Режими прискореного охолодження прокату» (п. 5.4.6).

У кінці конвеєра витки рольгангом передаються у виткозбірник, де на піку дорна формується моток. Готовий моток навішують на гак ланцюгового транспортера та доставляють на інспекційну ділянку для огляду, обрізки дефектних кінців і відбору проб.

Інспекційна ділянка одночасно виконує роль буферного накопичувача. При аварії на подальших агрегатах вона дає змогу накопичувати мотки до 10 хвилин без зупинки прокатки.

Готовий моток підпресовують і обв'язують катанкою або дротом, скручуючи у паралельний вузол.

При транспортуванні до місця розвантаження мотки проходять через вбудовані в конвеєр ваги, де автоматично фіксується їх маса.

Прибиральник гарячого металу вручну навішує ярлик на кожен моток. Розвантажувальний візок знімає мотки з гаків і укладає на кроковий транспортер. До складу або для навантаження мотки переміщують електромостовим краном з С-подібною дужкою. Пошкодження витків при транспортуванні неприпустиме.

Піднімати мотки за вв'язування забороняється.

Всі дільниці стану утворюють єдиний технологічний комплекс. Продуктивність і якість продукції залежать від злагодженої роботи кожної дільниці.

Усі приводи стану виконані реверсивними. Зупинка окремих ділянок або всього стану при аварії чи небезпеці здійснюється вручну або автоматично.

1.1.4 Основні технічні характеристики трайбапарата

Трайбапарат (рис. 1.2) розміщують перед першою кліткою і забезпечує транспортування та задавання нагрітих заготовель у перші кліті двониткового стану. Технічні параметри:

розміри заготовель	125 x 125 мм, довжиною 12 000 мм;
.....	150 x 150 мм, довжиною 12 000 мм;
максимальна маса заготовлі.....	2 100 кг;
максимальна швидкість подачі.....	1,2 м/с;
діаметр подаючих роликів.....	340 мм;
привод нижнього подаючого ролика:	двигун постійного струму
потужністю 38 кВт;	
діапазон регулювання.....	від 170 до 2 250 об/хв;
передаточне число редуктора.....	31,5;
опускання верхніх подаючих роликів:	
гідроциліндрами.....	100/63 x 160;
робочий тиск 120 бар, можливе редукування тиску в межах 80 -120 бар;	
витрата матеріалів: охолоджувальної води.....	18,1
м ³ /годину при 2,5 бар;	
густого мастила (від центральної системи):12 см ³ /годину (інтервал	
змащення - 4 години);	
гідролічного масла.....	141 дм ³ /хв при робочому тиску 120 бар.

До складу трайбапарату входять механічний вузол і привод, змонтовані на загальній рамі (рис. 1.2), з'єднані між собою шарнірним валом.

Нижній подавальний ролик трайбапарату є спільним для обох ниток і отримує привід від електродвигуна.

Кожен із двох балансирів несе по одному неприводному ролику та переміщується гідроциліндром.

Напрямні проводки до і після роликів направляють заготовлі в зоні трайбапарату.

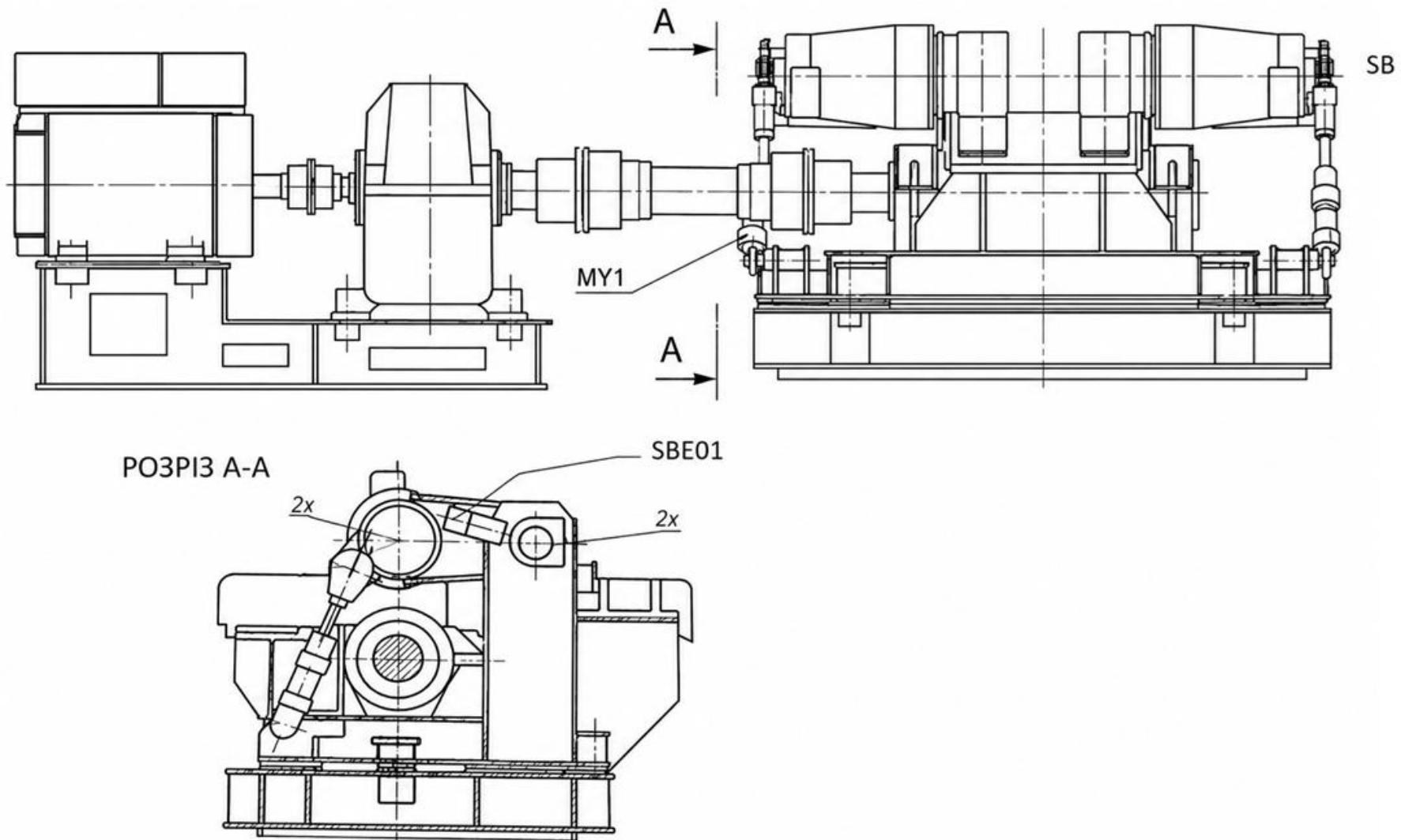


Рис. 1.2. Трайбапарат типу АВ006 перед 1-ою робочою кліттю, [3]

1.1.5 Принцип роботи трайбапарата

Транспортування заготівлі здійснюється притискним зусиллям верхнього ролика та крутним моментом, що прикладається до нижнього подавального ролика. Трайбапарат працює в "безперервному режимі", тобто нижній ролик, що подає, працює постійно.

Регульований двигун постійного струму MG DK 250.3 (38 кВт) приводить нижній ролик [3]. Робочий діапазон: швидкість втягування металу - 0,1-0,191 м/с, транспортна швидкість - 1,2 м/с.

Частоту обертання задають вручну з поста керування або записують у пам'ять комп'ютера для різних програм прокатки. В аварійній ситуації привод може реверсувати, повертаючи заготівлі.

Гальмування здійснює сам електродвигун.

Ініціатори наближення SBE01 та SBE02 сигналізують про положення верхнього подавального ролика.

Якщо притискний ролик піднято - ініціатор спрацьовує;
якщо ролик притиснутий до заготівлі - ініціатор не задіяний.

Датчики теплового випромінювання між трайбапаратом і першою кліттю керують верхнім роликом. При досягненні заготівлею датчика BFZI 01/02 ролик опускається (витримка 0-5 с). Після проходження BFZI 04 ролик піднімається і привод перемикається на швидкість прокатки. Датчик BFZI 01 рольганга сигналізує про наступну заготівлю - привод перемикається на транспортну швидкість.

Трайбапарат працює в автоматичному режимі й і взаємодіє з рольгангом зі стрілкою за пічкою. Операції перемикавання - підйом і опускання притискного ролика - можна робити також вручну.

У разі аварії під час прокатки привод може реверсувати; також допускається режим поштовхів (JOG).

Для налагоджувальних і аварійних операцій поруч із трайбапаратом встановлено місцевий пост з кнопками. Після перемикання на місцеве керування доступні операції в режимі поштовхів:

- підйом і опускання притискних роликів;
- привод у напрямок прокатки;
- реверсування приводу.

До комплекту постачання входить пристосування для заміни верхніх роликів: підвішується за вушка на гак крана, ролик охоплюється ременем і замінюється на місці без демонтажу.

Швидкість подачі автоматично узгоджується зі швидкістю першої кліті. Заготівля через датчики формує команди на підйом/опускання роликів - система діє в автоматичному режимі.

Правильне налаштування кінцевих вимикачів верхнього положення балансира є критично важливим.

Ці вимикачі відсікають подачу масла у відповідний гідроциліндр при досягненні крайнього положення.

Навантаження на привод і вузли трайбапарату суттєво залежить від зусилля притискання верхнього ролика під час задавання заготівлі.

Редукційний клапан дозволяє регулювати притискне зусилля відповідно до умов прокатки.

Трайбапарат поставляється у формі попередньо змонтованих вузлів.

Вузли встановлюють на фундамент і вивіряють між собою та відносно суміжного обладнання.

При вивіряння за висотою позначку верхньої твірної нижнього ролика ($\emptyset$ 340 мм) узгоджують із рівнем підвідного рольганга. Встановлення прокладок під підшипниками нижнього ролика не допускається.

Прокладки, що входять у комплект, забезпечують підйом нижнього подавального ролика після переточування в міру його зношування.

Після затяжки фундаментних болтів обидва вузли з'єднують шарнірним валом.

Трубопроводи охолоджувальної води, централізованого густого мастила і гідравлічного масла, що монтуються на механізмах, підключають до очищених нагнітальних ліній систем енергопостачання.

Рівень мастила у редукторі необхідно перевірити перед пуском.

Слід контролювати роботу системи централізованого мастила, а також справність і герметичність трубопроводів водяного охолодження.

Після перевірки гідравлічних з'єднань, герметичності трубопроводів і підключення кабелів виконують функціональне випробування з підйомом і опусканням парних подавальних роликів.

1.1.6 Кінематична схема механізму

Кінематичну схему трайбапарату наведено на рис. 1.3. Вали 5 і 6 встановлено на підшипниках кочення.

Передній (поз. 9) і задній (поз. 10) упори обмежують мінімальний та максимальний зазор між роликами.

Крутний момент двигуна (3) через зубчасту муфту (11) та ступінь редуктора (12) передається шестеренною передачею (13) на вали 5 і 6 і далі на ролики 7 і 8. Притискання роликів - механічне; зусилля регулюється електронікою через пневмоциліндр. Передаточне число редуктора - 31,5.

Для відведення подавальних роликів передбачений постійний зазор на обмежувальному упорі.

Положення роликів на калібр налаштовують маховичком упора за шаблоном-еталоном.

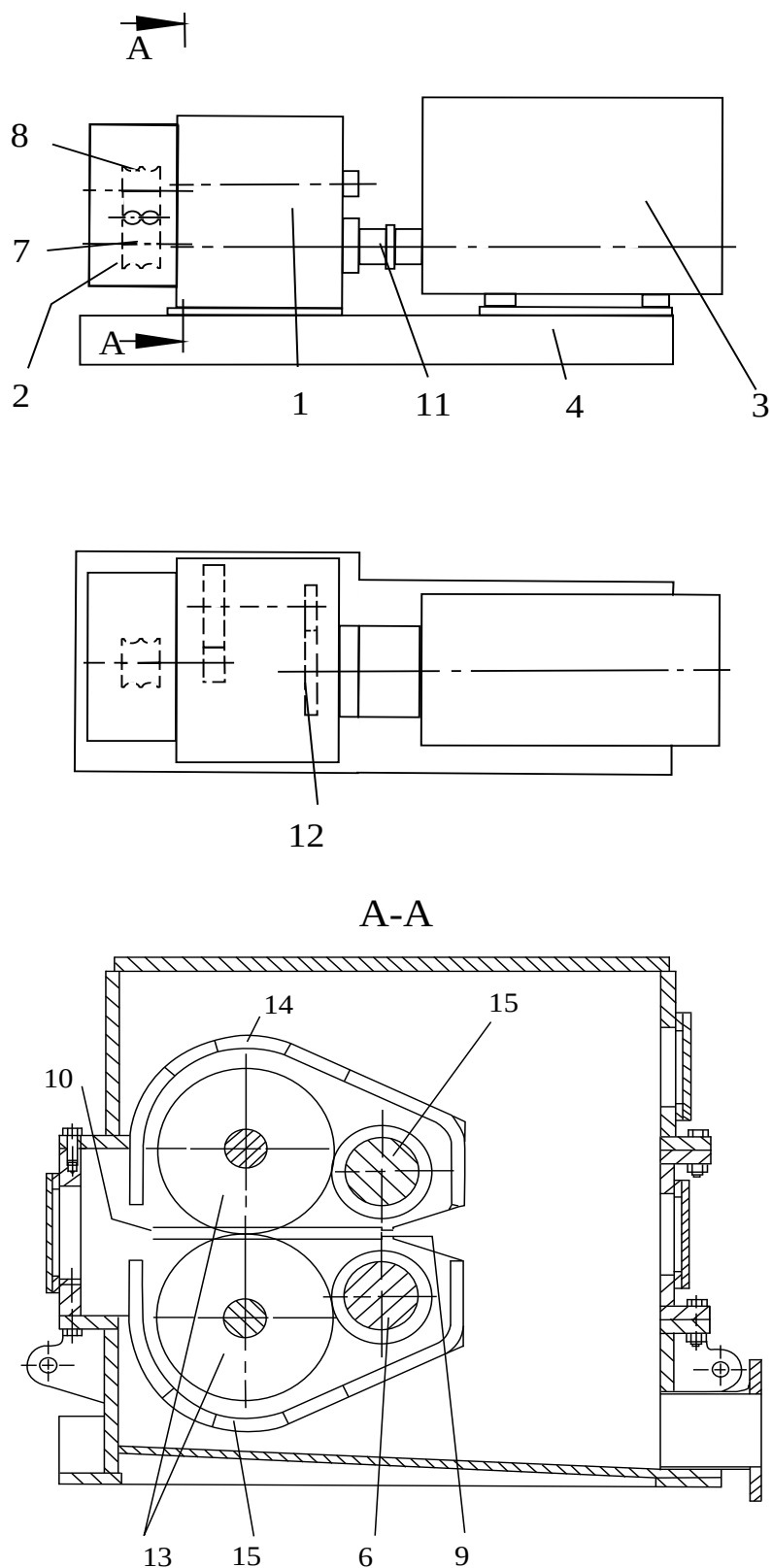


Рис. 1.3. Кінематична схема механізму

(розроблено з використанням [3])

1 - вузол трайбапарата; 2 - захисний корпус; 3 - двигун; 4 - рама; 14 і 15 - верхній і нижній балансири.

1.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода

1.2.1 Вимоги до електропривода

Щоб забезпечити геометричних параметрів профілю прокату до електропривода висувають такі вимоги: точність підтримки швидкості - 1-2 %; динамічне падіння швидкості - не більше 5 %; час регулювання - порядку 0,1 с; діапазон регулювання - до 10:1.

Вимоги до привода трайбапарату:

Перерегулювання $\sigma \leq 6\%$;

Час перехідного процесу $t \leq 0,1\text{с}$;

Статизм $\Delta \leq 5\%$.

Зазначені вимоги забезпечують двигуни постійного струму з незалежним збудженням.

Ключовим чинником дрогового стана - є його продуктивність. Підвищення продуктивності потрібний пошук оптимальних рішень, зокрема оптимального закону керування, що дозволить при найменших втратах у двигуні забезпечити необхідну продуктивність стана. Рішення даного завдання полягає в забезпечення оптимального перехідного процесу й регулятора дозволяючого його реалізувати.

Відповідно до вимог пред'явлених до системи електропривода трайбапарату в умовах ДС-150-1 найбільш доцільною є система тиристорний перетворювач - двигун постійного струму з незалежним збудженням. Систему «генератор - двигун» вважають морально застарілою через низьку швидкодію та надійність. Приводи на змінному струмі для трайбапаратів практично не застосовують через складність реалізації системи керування в умовах важких режимів роботи.

1.3 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

1.3.1 Дані механізму

Максимальна швидкість подачі металу $v_{\max} = 1,2 \text{ м/с}$;

Діаметр подаючих роликів $D = 340 \text{ мм}$;

Максимальне зусилля натягу $F_{\max} = 26 \text{ кН}$;

Передаточне число редуктора $i_{\text{ред}} = 31,5$;

Коефіцієнт корисної дії редуктора $\eta_{\text{ред}} = 0,98$;

Момент інерції мас робочої машини наведений до вала двигуна $J_{\text{мех}} = 18,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Тривала робота механізму можлива на будь-якій швидкості.

Розгін і гальмування відбуваються лінійно відносно часу в режимі холостого ходу.

Навантаження в робочому режимі постійне або змінюється незначно.

1.3.2 Розрахунок статичних моментів

Оскільки метал проходить через трайбапарат з натягом без обтиснення, потужність двигуна витрачається на подолання тертя в підшипниках і підтримання необхідного натягу.

Момент тертя за максимальної швидкості та навантаження

$$M_{\text{тр}} = 2 \cdot F_{\max} \cdot \mu \cdot \frac{D}{2} = 2 \cdot 26000 \cdot 0.004 \cdot \frac{0.34}{2} = 35.36 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.1)$$

Максимальний момент натягу

$$M_{\text{нат}} = F \cdot \frac{D_1}{2} = 26000 \cdot \frac{0.340}{2} = 4420 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.2)$$

Сумарний момент механізму:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{тр}} + M_{\text{нат}} = 35,36 + 4420 = 4455,4 \text{ Нм} \quad (1.3)$$

1.3.3 Вибір двигуна

Частота обертання вала двигуна за максимальної швидкості прокатки:

$$n_{\max} = \frac{v_{\max} \cdot 60}{\pi \cdot D_1} \cdot i_{\text{ред.}} = \frac{1,2 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,34} \cdot 31,5 = 2123,3 \text{ об / хв} \quad (1.4)$$

$$\omega_{\max} = \frac{n_{\max} \cdot \pi}{30} = \frac{2123,3 \cdot 3,14}{30} = 222,35 \text{ с}^{-1} \quad (1.5)$$

де: $v_{\max}$ - максимальна швидкість подачі металу 1,2 м/с;

D_1 - діаметр роликів.

Розрахункова потужність двигуна:

$$P_{\text{дв.р.}} = \frac{M_{\Sigma} \cdot \omega_{\max}}{\eta_{\text{ред.}} \cdot i_{\text{р}}} = \frac{4455,4 \cdot 222,35}{0,98 \cdot 31,5} = 32091 \text{ Вт} = 32 \text{ кВт} \quad (1.6)$$

Двигун обирають з умови:

$$M_{\text{двн}} \geq M_{\text{дв.р.}} \quad P_{\text{двн}} \geq P_{\text{дв.р.}} \quad (1.7)$$

Розрахунковий момент двигуна:

$$M_{\text{дв.р.}} = \frac{M_{\Sigma}}{i_{\text{ред.}} \cdot \eta_{\text{ред.}}} = \frac{4455,4}{31,5 \cdot 0,98} = 144,32 \text{ Нм} \quad (1.8)$$

Для привода трайбапарату обрано двигун постійного струму Siemens 1GH5-162-0GJ4-6VV4 [4]:

Тип обмотки незалежного збудження зі стабілізуючою обмоткою;

Номінальна потужність P_n , кВт.....36,3;

Номінальна напруга U_n , В..... 420;

Номінальний струм якоря $I_{ян}$, А.....97;

Номінальний ККД $\eta_{н...}$ 0,88;

Номінальна частота обертання n_n , об/хв.....2150;

Максимальна частота обертання $n_{\max}$, об/хв.....4500;

Момент інерції якоря двигуна $J_{\text{я}}$, кгм^2	0,24;
Номинальний момент $M_{\text{н}}$, Нм	161;
Кратність перевантаження по струму λ	2,5.

1.4 Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту

1.4.1 Вибір тиристорного перетворювача

Технічні характеристики обладнання взято з технічних паспортів і каталогів виробників [4], [5].

Живлення електродвигуна вибрано комплектний тиристорний електропривод серії КТЕУ, [5].

Тип електропривода.....	КТЕУ-100/440-1320-УХЛ4
Номинальна випрямлена напруга U_d , В	440
Номинальний випрямлений струм I_d , А	100
Схема випрямлення.....	3-фазна мостова
Тиристорний перетворювач збудження КТВ- 10/220-00-УХЛ4	
Номинальна випрямлена напруга U_d , В	220
Номинальний випрямлений струм I_d , А	10
Тахогенератор ПТ-22	
Номинальна напруга $U_{\text{НТГ}}$, В	230
Номинальна швидкість обертання $n_{\text{НТГ}}$, об/хв	2400
Шунт у колі якоря	
Номинальний струм $I_{\text{н}}$, А	100
Спадання напруги в шунті при $I_{\text{н}}$ $U_{\text{м}}$, В	$75 \cdot 10^{-3}$

1.4.2 Вибір живильного трансформатора

Живлення ТП виконаємо через трансформатор серії «ТСП», [6]. Трансформатор призначено для живлення комплектних тиристорних

перетворювачів електроприводів по трифазній мостовій й нульовій схемам випрямлення. Розраховані на роботу в мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц; у разі постачання на експорт допускається робота на частоті 60 Гц.

Трифазний трансформатор з природним повітряним охолодженням зображено на рис. 1.4.

Трансформатори ТСП у відкритому виконанні вбудовуються в шафу з вентиляційними отворами. Допустиме перевищення температури в шафі - 10 °С, мінімальна відстань від струмовідних частин до металу - 15 мм. Ступінь захисту кожуха - IP20 (знизу IP00). Магнітопровід - рулонна електротехнічна сталь 0,35 мм із багатоступінчастим перетином. Обмотки концентричні, мідний провід на ізоляції класу F (УХЛ) або H (О).

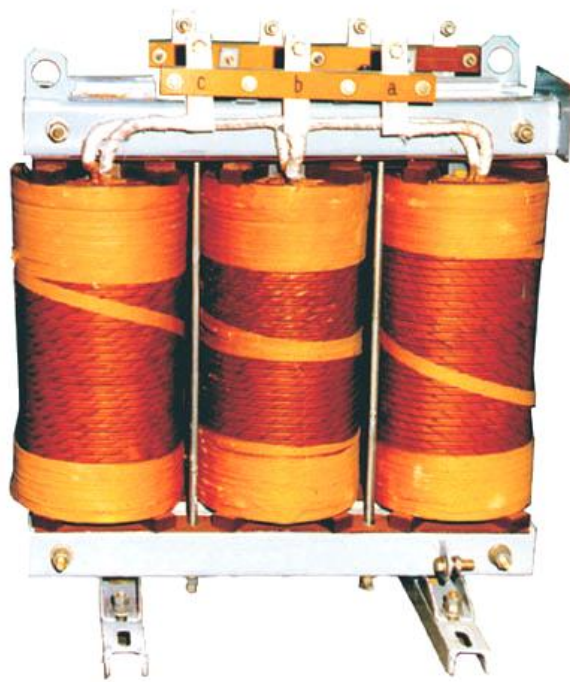


Рис. 1.4. Зовнішній вигляд силового трансформатора серії ТСП, [6]

Тип трансформатора.....	ТСП-63/0.7УХЛ4
Вторинна напруга $U_{\text{л}}$, В	380
Напруга короткого замикання трансформатора $U_{\text{к}}$, %.....	6
Номінальна потужність $S_{\text{тр}}$, кВА.....	58
Втрати в міді $\Delta P_{\text{м}}$, кВт.....	1,9

1.4.3 Вибір згладжуючого дроселя

Для згладжування пульсацій у ланці постійного струму обрано дросель серії ФРОС [7]:

тип ФРОС - 65/0,5У3;
 номінальний струм I_n , А.....150;
 номінальна напруга U_n , В.....до 500;
 номінальна індуктивність $L_{др}$, мГн 1;
 активний опір $R_{др}$, мОм 4,5.

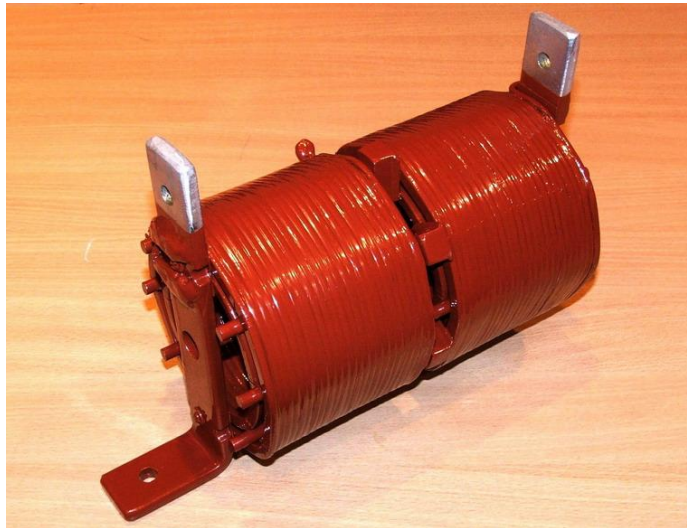
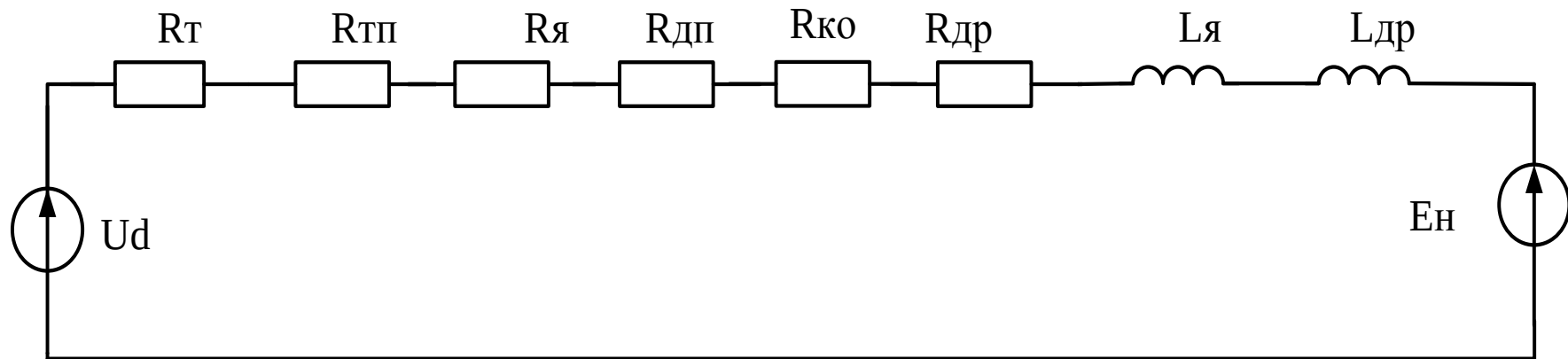


Рис. 1.5. Зовнішній вид реакторів серії ФРОС, [7]

Реактори ФРОС відкритого виконання монтуються в шафі електропривода. Короткочасний лінійно наростаючий струм $0-3 \cdot I_n$ тривалістю 0,05 с допустимий; індуктивність при цьому змінюється не більш ніж на 10 %. Клас нагрівостійкості ізоляції - Н.

1.5 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних характеристик

Схему заміщення системи ТП-Д наведено на рис. 1.6; умовні позначення подано під рисунком [8].



R_T - активний опір трансформатора;

$R_{ТП}$ - активний опір тиристорного перетворювача;

$R_я$ - активний опір якірного кола;

$R_{ДП}$ - активний опір додаткових полюсів;

$R_{ко}$ - активний опір компенсаційної обмотки;

$R_{др}$ - активний опір дроселя;

$L_я$ - індуктивний опір якірного кола;

$L_{др}$ - індуктивний опір дроселя.

Рис. 1.6. Схема заміщення системи ТП-Д
(розроблено автором з використанням [8], [9])

Температурний коефіцієнт $\beta_T = 1,35$

Опір якорного кола з урахуванням температурного коефіцієнта

$$R_a = \beta_T \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}}) = 1,35 \cdot (0,216 + 0,08 + 0,02) = 0,4266 \text{ Ом} \quad (1.9)$$

Параметри силової частини

$$U_{2f} = 220 \text{ В} \quad I_{\text{дн}} = 97 \text{ А}$$

$$K_{du} = 2,34 - \text{для трьохфазної мостової схеми}$$

Максимальна ЕРС перетворювача якоря

$$E_{do} = K_{du} \cdot U_{2f} = 2,34 \cdot 220 = 514,8 \text{ В} \quad (1.10)$$

Активний опір трансформатора ТСП-63/0.7УХЛ4

$$R = \frac{\Delta P_{\text{м}}}{I_{\text{дн}}^2} = \frac{1900}{97^2} = 0,2019 \text{ Ом} \quad (1.11)$$

Еквівалентний опір трансформатора

$$R_{\text{екв}} = 0,5 \cdot U_k \cdot \frac{E_{do}}{I_{\text{дн}}} = 0,5 \cdot 0,06 \cdot \frac{514,8}{97} = 0,1592 \text{ Ом} \quad (1.12)$$

Активний опір головного кола

$$R_e = R_a + R_{\text{ТП}} + R_{\text{екв}} + R_r + 0,1 \cdot R_a = 0,656 \text{ Ом} \quad (1.13)$$

Індуктивність якорного кола

$$L_a = 0,25 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{н}} \cdot p} \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{дн}}} = 0,25 \cdot \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 2150 \cdot 2} \cdot \frac{420}{97} = 0,0012 \text{ Гн}, \quad (1.14)$$

де C - постійна, рівна 0,1–0,25 для компенсованих двигунів та 0,6 для некомпенсованих двигунів, p - число пар полюсів двигуна.

Індуктивний опір фази трансформатора, приведеного до вторинної обмотки

$$Kdi = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577 \quad (1.15)$$

$$x_T = U_k \cdot \frac{U_{2f}}{I_{dH} \cdot Kdi} = 0,06 \cdot \frac{220}{97 \cdot 0,577} = 0,2357 \text{ Ом} \quad (1.16)$$

Індуктивність розсіювання трансформатора при $\omega_c = 314$

$$L_T = 0,5 \cdot \frac{x_T}{\omega_c} = 0,5 \cdot \frac{0,2357}{314} = 0,000373 \text{ Гн} \quad (1.17)$$

Знаходимо індуктивність головного кола

$$L_e = L_a + L_T + R_{\text{екв}} + Rr + 0,1 \cdot R_a = 0,656 \text{ Ом} \quad (1.18)$$

де Ldr - індуктивність згладжуючого дроселя ФРОС - 65/0,5УЗ

Ел.магнітна постійна часу двигуна

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,0012}{0,4266} = 0,0028 \text{ с} \\ T_e &= \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,00257}{0,656} = 0,0039 \text{ с} \end{aligned} \quad (1.19)$$

Номінальна ЕРС двигуна

$$E_H = U_H - I_H \cdot R_a - \Delta U_B = 420 - 97 \cdot 0,4266 - 2 = 376,61 \text{ В}, \quad (1.20)$$

де $\Delta U_B = 2 \text{ В}$ - падіння напруги на тиристорах

Номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{P_H \cdot 9,55 \cdot 10^3}{n_H} = \frac{36,3 \cdot 9,55 \cdot 10^3}{2150} = 161,23 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.21)$$

Сумарний момент інерції

$$J_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + J_D = 1,54 + 0,24 = 1,785 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (1.22)$$

Коефіцієнт двигуна

$$C_{\Phi H} = \frac{E_H}{n_H \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{376,61}{2150 \cdot \frac{3,14}{30}} = 1,6728 \text{ В} \cdot \frac{\text{хв}}{\text{об}} \quad (1.23)$$

$$C_{M\Phi H} = \frac{M_H}{I_H} = \frac{161,2395}{97} = 1,6623 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \quad (1.24)$$

$$A = J_{\Sigma} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = 1,7854 \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{60} = 0,18 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{хв}}{\text{об}} \quad (1.25)$$

Електромеханічна постійна часу

$$T_M = \frac{A \cdot R_e}{C_{\Phi H} \cdot C_{M\Phi H}} = \frac{0,187 \cdot 0,656}{1,6728 \cdot 1,6623} = 0,0441 \quad (1.26)$$

Механічні характеристики електропривода побудовано для різних значень кута керування α .

$$\omega(M) = \frac{E_{do} \cdot \cos 45 - 2}{C_{\Phi H}} - \frac{R_e}{C_{\Phi H} \cdot C_{M\Phi H}} \cdot M \quad (1.27)$$

$$\omega_1(M) = \frac{E_{do} \cdot \cos 60 - 2}{C_{\Phi H}} - \frac{R_e}{C_{\Phi H} \cdot C_{M\Phi H}} \cdot M \quad (1.28)$$

$$\omega_2(M) = \frac{Edo \cdot \cos 80 - 2}{Ce\Phi_H} - \frac{R_e}{Ce\Phi_H \cdot C_{M\Phi_H}} \cdot M \quad (1.29)$$

Результати розрахунків наведено на рис. 1.7.

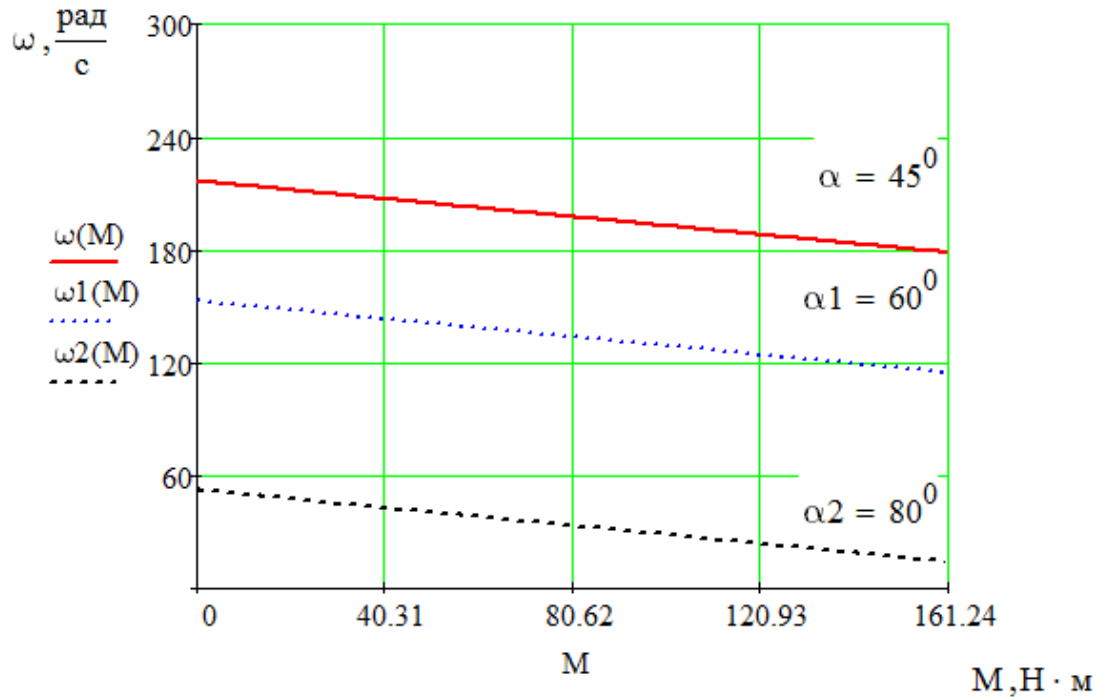


Рис. 1.7. Статичні механічні характеристики електроприводу при різних кутах α
(розроблено автором)

$$\Delta\omega = \frac{I_H \cdot R_e}{Ce\Phi_H} = 38,038 \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \quad (1.30)$$

Статизм розімкненої системи при цьому

$$\nu = \frac{\Delta\omega}{n_n \cdot \frac{\pi}{30}} = \frac{38,0385}{2150 \cdot \frac{\pi}{30}} \cdot 100\% = 16,9\% \quad (1.31)$$

Аналіз підтверджує: статизм розімкненої системи перевищує технологічно допустиме значення. Це обумовлює необхідність замкненої системи регулювання.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування і вибір системи регулювання приводом трайбапарату

Електропривод - це електромеханічна система, що включає двигун, перетворювач, механічну передачу та пристрій керування. Призначення системи - надавати руху виконавчим органам робочої машини та регулювати цей рух [8]. Сучасний виробничий агрегат складається з численних деталей, вузлів і механізмів, кожен з яких виконує певну функцію. Знання призначення кожного елемента є обов'язковою умовою грамотного проектування та експлуатації машини [8].

Розрізняють регульований і нерегульований електропривод. У прокатному виробництві найпоширенішим є регульований привод постійного струму, у якому швидкість регулюють зміною середнього значення напруги на якорі двигуна [8].

Структуру системи керування обирають відповідно до вимог технічного завдання. До основних вимог належать: підтримання заданої швидкості в потрібному діапазоні регулювання з допустимою статичною похибкою, обмеження струму при упорі та задане прискорення при пуску.

Для керування приводом трайбапарату прийнято двоконтурну схему підпорядкованого регулювання: зовнішній контур регулює швидкість, внутрішній - струм якоря двигуна.

Система підпорядкованого регулювання є багатоконтурною із каскадним з'єднанням регуляторів. Число регуляторів відповідає числу регульованих координат. Вихідний сигнал регулятора зовнішнього контуру є завданням для внутрішнього - звідси принцип підпорядкування.

Суттєва перевага системи - незалежне послідовне налаштування регуляторів: спочатку внутрішнього контуру, потім зовнішнього. Стосовно до привода постійного струму система підпорядкованого регулювання містить основний контур регулювання швидкості й внутрішній, підлеглий контур

регулювання струму якоря.

Система підпорядкованого регулювання забезпечує якісні статичні та динамічні характеристики привода. Висока стандартизація структури та елементів спрощує виготовлення, налагодження й ремонт [8].

У таких системах настроювання контурів і вибір типу регулятора виконується по технічному (модульному) (ТЕ) і симетричному (СО) оптимумам. При настроюванні на модульний оптимум приймаються такі передатні функції:

$$\text{регулятора } W_{\text{рег}}(p) = \frac{1}{2^n T_{\mu} p} \frac{1}{W_{kn}(p)} \frac{K_{o.cn-1}}{K_{o.cn}}; \quad (2.1)$$

розімкнутого оптимізованного контуру

$$W_{\text{рез}}(p) = \frac{1}{2^n T_{\mu} (2^{n-1} T_{\mu} + 1)}; \quad (2.2)$$

замкнутого оптимізованного контуру (спрощеного)

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1}{[2^n T_{\mu} p (2^{n-1} T_{\mu} p + 1) + 1] K_{o.cn}}, \quad (2.3)$$

де T_{μ} - сума малих некомпенсованих постійних часу замкненого контуру;

n – номер контуру;

$W_{kn}(p)$ – передатна функція компенсуємої частини n -го контуру;

$K_{o.cn-1}, K_{o.cn}$ – коефіцієнти зворотного зв'язку;

n – 1-го й n -го контуру регулювання.

Нехтуючи в поліномах знаменника членами вище другого порядку, спрощують процедуру налаштування та аналізу ЕП. Точність при цьому залишається достатньою для практики.

При налаштуванні на симетричний оптимум (СО) передаточні функції

отримують множенням відповідних функцій модульного оптимуму (МО) на корекційний множник $(2n+1 \cdot T_{\mu p} + 1) / (2n+1 \cdot T_{\mu p})$:

$$\text{регулятора } W_{\text{рег}}(p) = \frac{1}{2^n T_{\mu} p} \frac{1}{W_{kn}(p)} \frac{K_{o.cn-1}}{K_{o.cn}} \frac{2^{n+1} T_{\mu} p + 1}{2^{n+1} T_{\mu} p}; \quad (2.4)$$

розімкнутого оптимізованого контуру

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2^n T_{\mu} p (2^{n-1} T_{\mu} p + 1)} \frac{2^{n+1} T_{\mu} p + 1}{2^{n+1} T_{\mu} p}; \quad (2.5)$$

замкнутого оптимізованого контуру (спрощеного)

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1}{[2^n T_{\mu} p (2^{n-1} T_{\mu} p + 1) + 1] K_{o.cn}} \frac{2^{n+1} T_{\mu} p + 1}{2^{n+1} T_{\mu} p}. \quad (2.6)$$

Настроювання регулятора на симетричний оптимум в електроприводі забезпечують астатичне регулювання й високу швидкодію при відпрацьовуванні обурюючих впливів. Водночас стрибкоподібна зміна задавального сигналу викликає значне перерегулювання, яке може досягати 53 %. Для його зниження в коло задавального сигналу вводять аперіодичні ланки або задавач інтенсивності, що забезпечує плавне наростання вхідного сигналу.

У системах підпорядкованого регулювання використовують П-, І-, ПІ- та ПІД-регулятори на операційних підсилювачах. Обмеження струму якоря в динамічних і сталих режимах досягається обмеженням вихідної напруги регулятора швидкості, яка є завданням для регулятора струму.

Функціональна схема системи підпорядкованого регулювання швидкості з від'ємним зворотним зв'язком наведена на рис. 2.1.

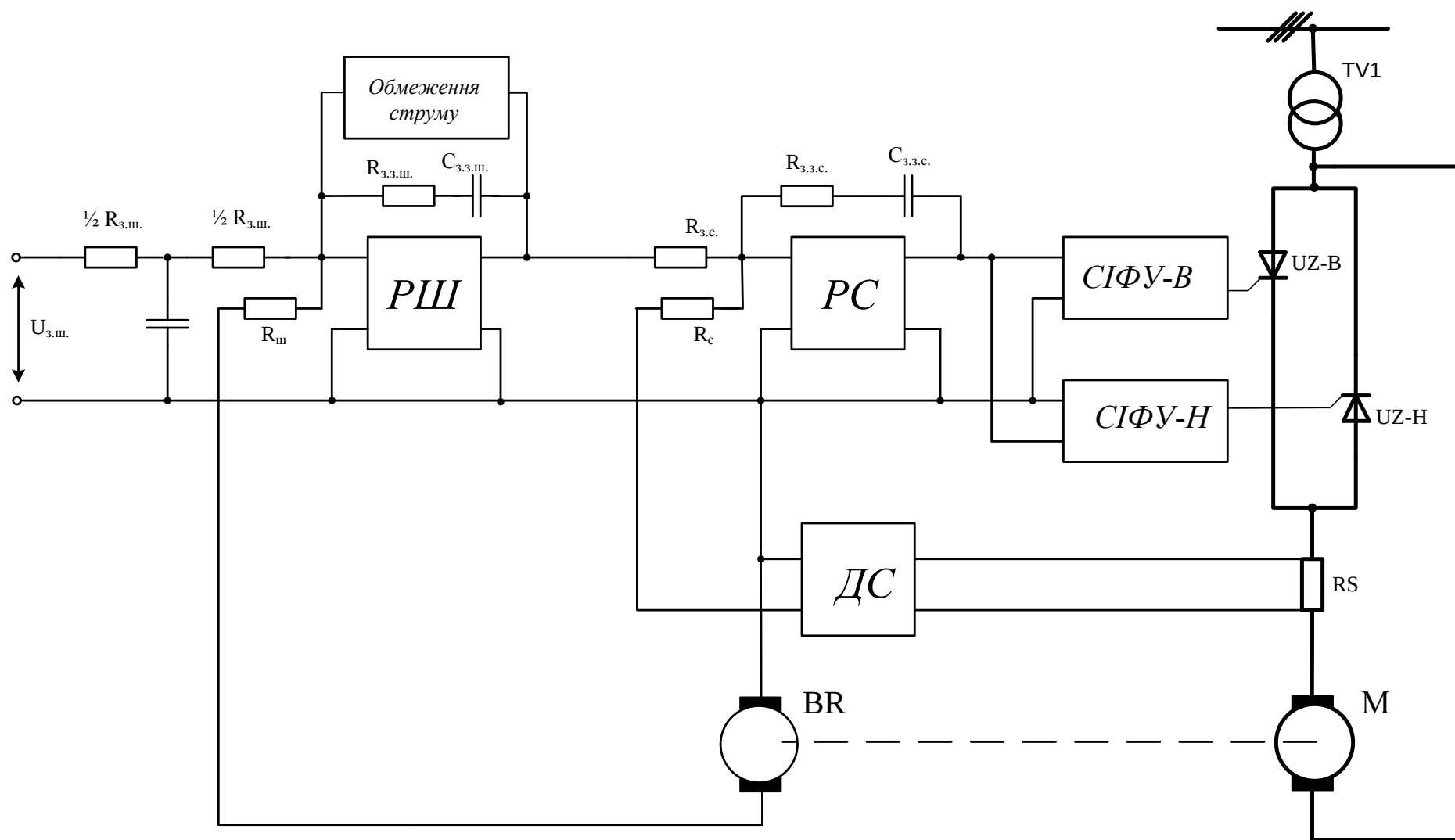


Рис. 2.1. Функціональна схема системи керування приводом підйому трайбапарату
(розроблено автором з використанням [8], [9])

Схема містить ДПТ з незалежним збудженням М, що живиться від тиристорного перетворювача UZ. Регулятори струму (РС) і швидкості (РШ), датчик струму ДС та тахогенератор BR утворюють замкнену систему. Напряга U_y від РС подається на СІФУ. На вхід РС алгебраїчно підсумовуються сигнал завдання U_{zs} (від РШ) і сигнал зворотного зв'язку U_{zvc} (від ДС).

Стабілітрони VD1, VD2 у колі зворотного зв'язку РШ обмежують його вихідну напругу на рівні U_{zstax} , що відповідає граничному допустимому струму I_{max} .

Критерій оптимізації РШ (модульний або симетричний оптимум) обирають з умов забезпечення потрібної жорсткості механічних характеристик.

Налаштування контуру швидкості на симетричний оптимум забезпечує астатизм системи по збуренню. У сталому режимі відхилення швидкості від завдання дорівнює нулю незалежно від навантаження.

2.2 Вибір елементів і розрахунок регуляторів аналогової системи керування

Напряга знімаєма з шунта $U_{ш} = 0,075$ В.

Номінальний струм шунта якоря ШСМ $I_{нш} = 100$ А.

Передавальний коефіцієнт шунта якоря

$$k_{шя} = \frac{U_{ш}}{I_{нш}} = \frac{0,075}{100} = 0,00075 \quad (2.7)$$

Максимальне значення датчика струму якоря $U_{дся} = 10$ В.

Максимальний струм якоря

$$I_{max} = 2.5 \cdot I_n = 242,5 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Коефіцієнт підсилення датчика струму

$$k_{дся} = \frac{U_{дся}}{k_{шя} \cdot I_{max}} = \frac{10}{0,00075 \cdot 242,5} = 54,98 \quad (2.9)$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача

$$k_{тпя} = \frac{E_{d0}}{U_m} = \frac{514,8}{10} = 51,48 \quad (2.10)$$

2.2.1 Розрахунок параметрів регулятора струму

Задаємося $C_{ззся} = 1 \cdot 10^{-6}$ Ф

$$R_{ззся} = \frac{T_e}{C_{ззся}} \cdot 10^{-3} = \frac{0,0039}{10^{-3}} = 3,9 \text{ кОм} \quad (2.11)$$

Некомпенсована постійна часу контуру струму: $T_\mu = 0,005$ с.

Постійна часу інтегрування контура струму дорівнює:

$$T_{ся} = a_{ся} \cdot T_\mu = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ с} \quad (2.12)$$

Значення $a_{ся} = 2$ відповідає налагодженню на модульний оптимум.

$U_{зсятах} = 10$ В - напруга обмеження регулятора струму.

$$R_{ззся} = \frac{U_{зсятах}}{k_{шя} \cdot k_{дся} \cdot I_{max}} \cdot R_{ся} = \frac{10}{0,00075 \cdot 48,3092 \cdot 2760} \cdot 38,3928 =$$

$$= 38,4 \text{ кОм} \quad (2.13)$$

$$k_{ся} = \frac{U_{зсятах}}{I_{max}} = \frac{10}{242,5} = 0,0412 \quad (2.14)$$

2.2.2 Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Щоб забезпечити зворотнього зв'язку по швидкості та для візуального контролю обертів вибрано тахогенератор типу ПТ-22 з наступними технічними даними:

$$n_{\text{ТГ}}=2400 \text{ об/хв};$$

$$I_3=0,35\text{A};$$

$$U_3=55 \text{ В};$$

$$U_{\text{ТГ}}=230 \text{ В}$$

Передавальний коефіцієнт тахогенератора

$$k_{\text{ТГ}} = \frac{U_{\text{ТГ}}}{n_{\text{ТГ}}} = \frac{230}{2400 \cdot \frac{3,14}{30}} = 0,9156 \quad (2.15)$$

Максимально допустима похідна струму $dj_{\text{max}}=20 \text{ 1/с.}$

$$\text{Визначаємо } \frac{dj_{\text{max}}}{1} \cdot T_{\text{ся}} = 0,2$$

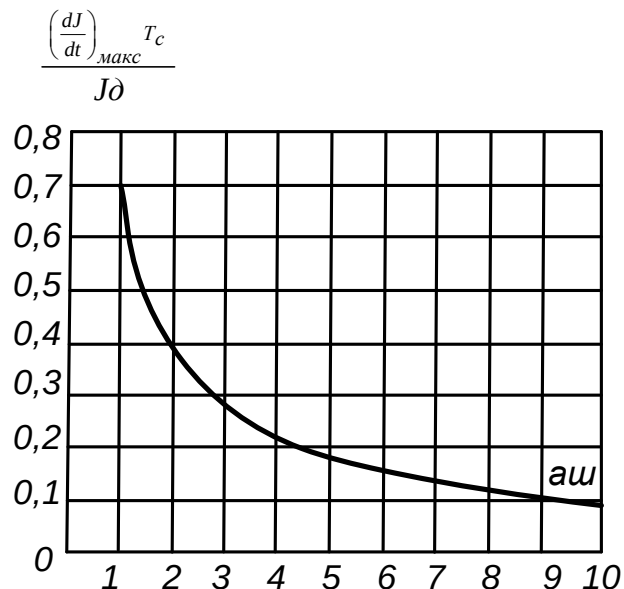


Рис. 2.2. Графік залежності відносного значення похідної струму двигуна від параметру $a_{\text{ш}}$

(розроблено автором з використанням [44с., 8])

За графіком, зображеним на рис. 2.2 визначаємо:

Коефіцієнт інтегрування $a_{ш} = 4,25$

Задавальна напруга для максимальної швидкості: $U_{шmax} = 10$ В; $R_{шв} = 50$ кОм.

$$R_{ш} = \frac{k_{тг} \cdot n_H}{U_{шmax}} \cdot R_{зш} = \frac{0,9156 \cdot 2150 \cdot \frac{3,14}{30}}{10} \cdot 50 = 1000 \text{ кОм} \quad (2.16)$$

$$R_{ззш} = \frac{T_M \cdot k_{ся} \cdot C_{еФН}}{a_{ш} \cdot T_{ся} \cdot k_{тг} \cdot R_e} \cdot R_{ш} = \frac{0,0441 \cdot 0,0412 \cdot 1,6728}{4,25 \cdot 0,01 \cdot 0,9156 \cdot 0,656} \cdot 1000 = 122,79 \text{ кОм} \quad (2.17)$$

$$k_{шв} = k_{тг} \cdot \frac{R_{зш}}{R_{ш}} = 206,04 \cdot \frac{50}{1000} = 0,0444 \quad (2.18)$$

Для двократно-інтегруючої системи обираємо $b_{ш}=2$

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{2123}{420} = 5,05 \quad (2.19)$$

$$C_{ззшв} = \frac{b_{ш} \cdot a_{ш} \cdot T_{ся} \cdot D}{R_{ззш}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,01 \cdot 5,05}{50} \cdot 10^3 = 3,49 \text{ мкФ} \quad (2.20)$$

$$C_{зс} = \frac{4 \cdot b_{ш} \cdot a_{ш} \cdot T_{ся} \cdot D}{R_{ззш}} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 0,01 \cdot 5,05}{50} \cdot 10^3 = 34,37 \text{ мкФ} \quad (2.21)$$

2.3 Розробка і опис електричної принципової схеми системи керування та її елементної бази

Розроблена електрична принципова схема представлена на рис. 2.4.

КТЕ містить апаратуру живлення обмотки збудження двигуна. Некерований збудник утворено трансформатором та діодним випрямним

мостом [5].

Живлення ЕП виконується від мережі змінного струму напругою 6кВ з використанням трансформатора ТСП-63/0.7УХЛ4. Реверсивний ТП виконаний по трифазній мостовій схемі випрямлення. Система керування ТП містить: СІФУ з вихідними каскадами, гальванічними розв'язками, системами роздільного керування (РУ), живлення й контролю. СІФУ побудована по вертикальному принципі з пилкоподібною опорною напругою. Вона має лінійну регульовальну характеристику $\alpha(U_{yn})$ (рис. 2.3) з повним діапазоном зміни кута керування не менш 170° при зміні напруги керування від +10 до -10 В та струму керування не більше 5 А. Діапазон зміни кута регулювання становить $\alpha_{min} = 5^\circ$, $\alpha_{max} = 175^\circ$. Початковий кут узгодження може змінюватися від 60 до 130° . Дрейф регульовальної характеристики становить не більше $\pm 4^\circ$ у всім діапазоні зміни температур, асиметрія керуючих імпульсів у всім діапазоні керування не перевищує $\pm 3^\circ$.

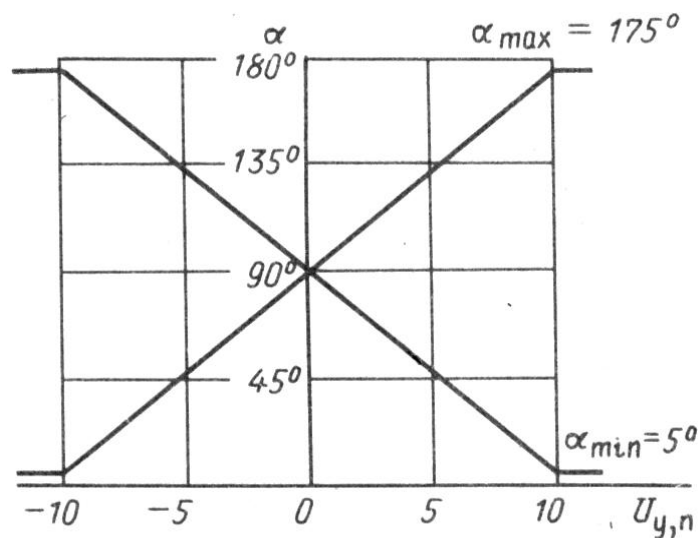


Рис. 2.3. Регульовальні характеристики СІФУТП, [5]

Підключення електропривода до мережі 6 кВ виконується ввідним вимикачем QF2. У колі випрямленого струму встановлюється захисний автоматичний вимикач S F2. Для механізмів. Вимагають частих налагоджень, випускаються ЕП з лінійним контактором КМ у колі випрямленого струму, що забезпечує видимий розрив кола по вимогах техніки безпеки.

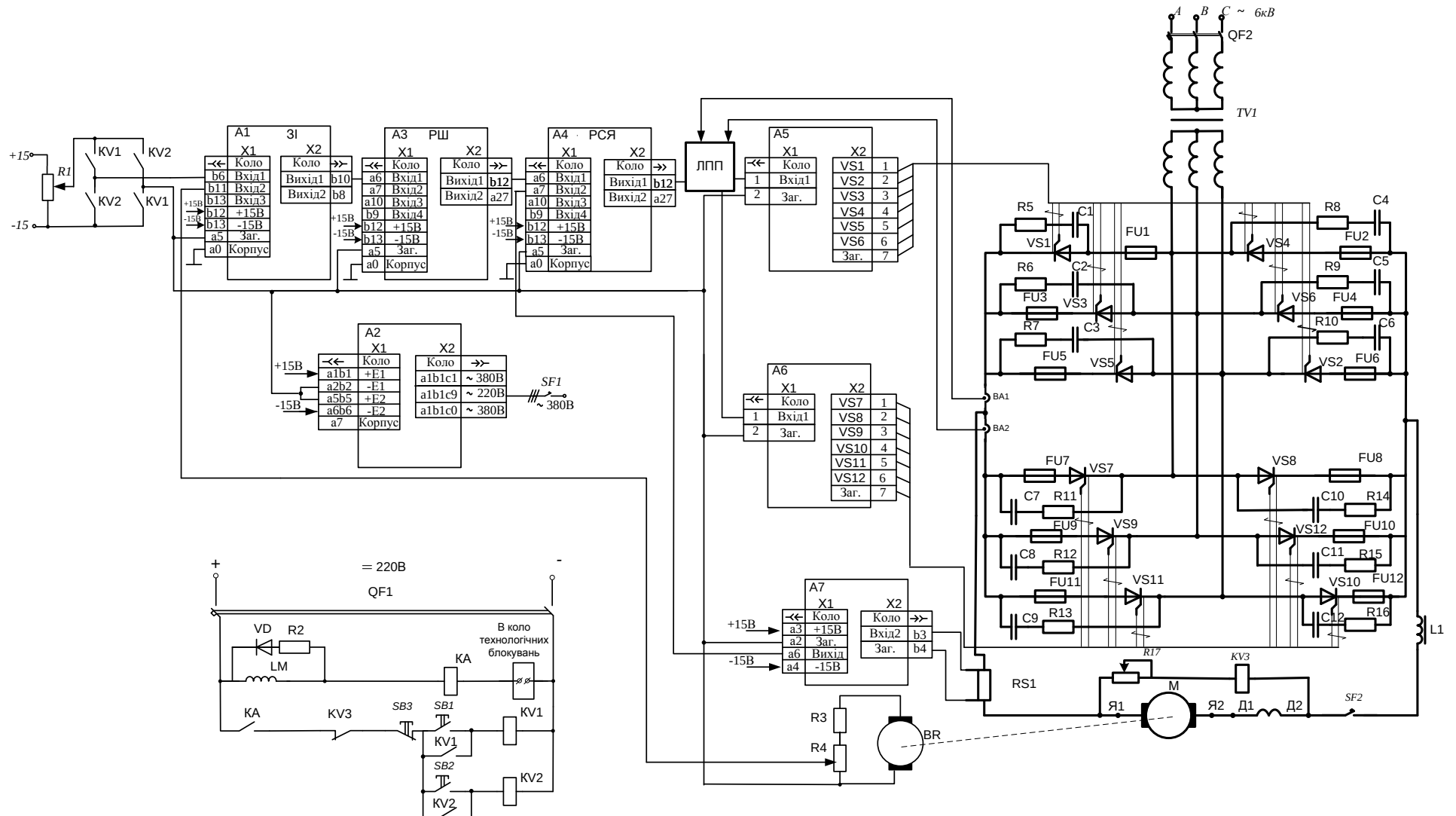


Рис. 2.4. Принципова схема системи керування

(розроблено автором)

Обмотку збудження живить неререверсивний мостовий ТП від мережі 380 В через власний трансформатор. Підключення до мережі й захист від перевантажень - автоматичний вимикач QF1. Тиристори захищені RC-ланцюжками, обмотка збудження - паралельним резистором R2. Реле КА - нульовий захист.

Система захисту виявляє та локалізує аварії. Більшість пошкоджень супроводжується надструмами, тому основне завдання - обмежити їх зростання у силовому колі. Деякі аварії (перегрів при відключенні вентиляції, перенапруга) не пов'язані із збільшенням струму. Надструми викликають: КЗ в колах постійного і змінного струму, одночасне відкриття обох мостів, пробій тиристора, перекидання інвертора. Найчастіші причини - несправності СІФУ, ЛПП, старіння тиристорів і значні коливання живлячої напруги.

Автоматичний вимикач QF1 захищає силові кола від струмів КЗ та перевантажень.

RC - кола знижують комутаційні перенапруги на тиристорах VS1-VS12.

Схема керування включає СІФУ тиристорного перетворювача і замкнену систему стабілізації швидкості. До входів системи надходять: сигнал завдання, сигнал шунта RS (датчик струму) і сигнал тахогенератора BR.

СІФУ перетворює напругу керування U_y у послідовність імпульсів відкривання тиристорів, зсунутих за фазою відносно живлячої мережі.

СІФК побудована по так званому "вертикальному" принципу, при якому напруга u_y рівняється з опорним певним чином сфазованим щодо живлячої напруги мережі. У якості опорного використовується пов'язана з мережею синусоїдальна напруга, фаза якого обрана так, що в момент природної комутації ця напруга максимальна. Отже, при використанні даної СІФК залежність "вихід-вхід" перетворювача виявляється лінійною.

Оскільки електропривод реверсивний, СІФК доповнюється вузлами, що формують перемикання випрямних мостів В та Н. Для керування обома мостами використовується один й той же фазозрушуючий пристрій з необхідними перемиканнями у вихідних вузлах за допомогою логічного

перемикаючого пристрою (ЛПП). Який із двох випрямних мостів повинен бути включений - залежить від полярності напруги завдання струму, що виробляється в системі регулювання. Якщо в провідному стані будуть перебувати тиристори обох мостів, відбудеться коротке замикання.

Для запобігання КЗ при перемиканні мостів ЛПП контролює струм через трансформатори ТТ. При малому струмі (1-2 % $I_{ном}$) і невідповідній полярності изт - імпульси знімають з активного моста. Витримується безструмова пауза 2,5-4 мс; після неї відкривається другий міст.

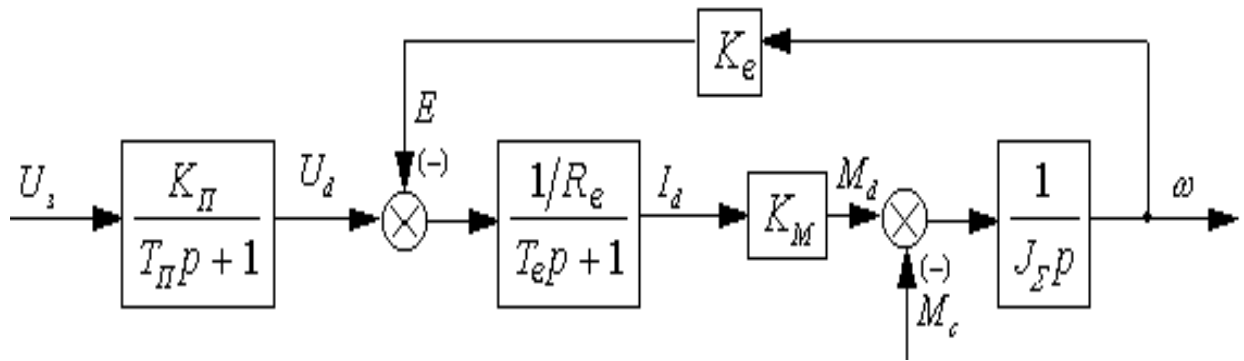
Блок завдання формує сигнал задавання. Рівень встановлює потенціометр R1, полярність (напрямок руху) задають реле KV1 («Вперед») і KV2 («Назад»). Реле КА контролює цілісність обмотки збудження.

Після ввімкнення QF1, QF2 живлення надходить на схеми - реле КА замикає головний контакт. SB1 («Вперед») вмикає реле KV1: трайбапарат подає заготівлі у кліть. SB2 («Назад») вмикає KV2 для реверсу. SB3 («Гальмо») зупиняє привод у будь-якому напрямку.

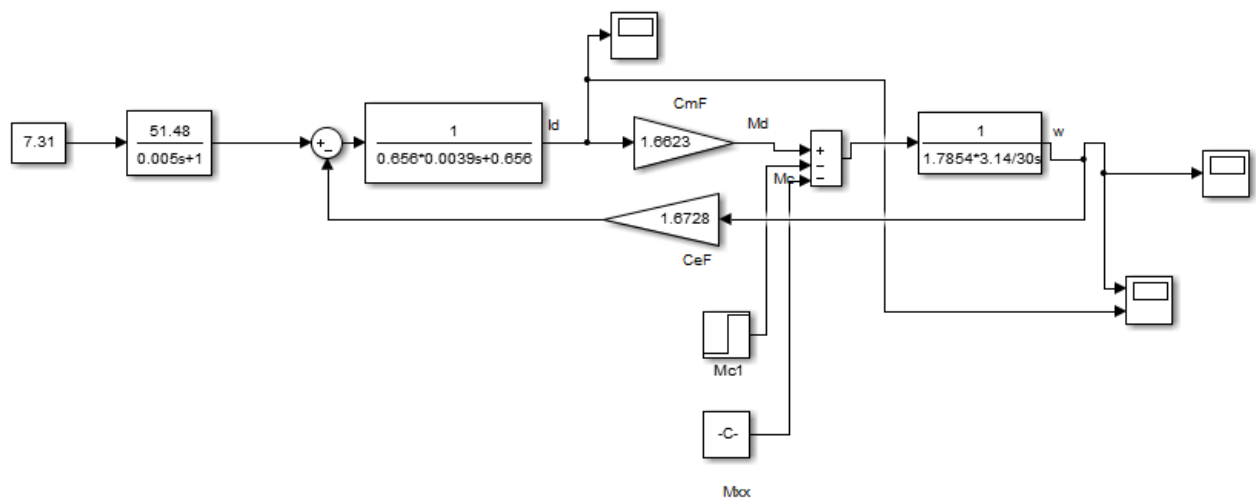
2.4 Моделювання статичних та динамічних режимів розімкненої системи електропривода

Математичну модель розімкненої системи привода трайбапарату розроблено у програмному середовищі MATLAB/Simulink [9].

Структурну схему математичної моделі розімкненої системи наведено на рис. 2.5.



а) Структурна схема розімкнутої системи ТП-Д



б) Математична модель розімкнутої системи приводу у пакеті «MatLab»

Рис. 2.5. Структурна схема розімкнутої системи ЕП
(розроблено автором)

Модель системи ТП-Д побудовано зі стандартних блоків пакета Simulink з необхідними доповненнями.

На рис. 2.6 і 2.7 зображено перехідні процеси швидкості та струму при пуску двигуна в розімкненій системі з накидом номінального навантаження.

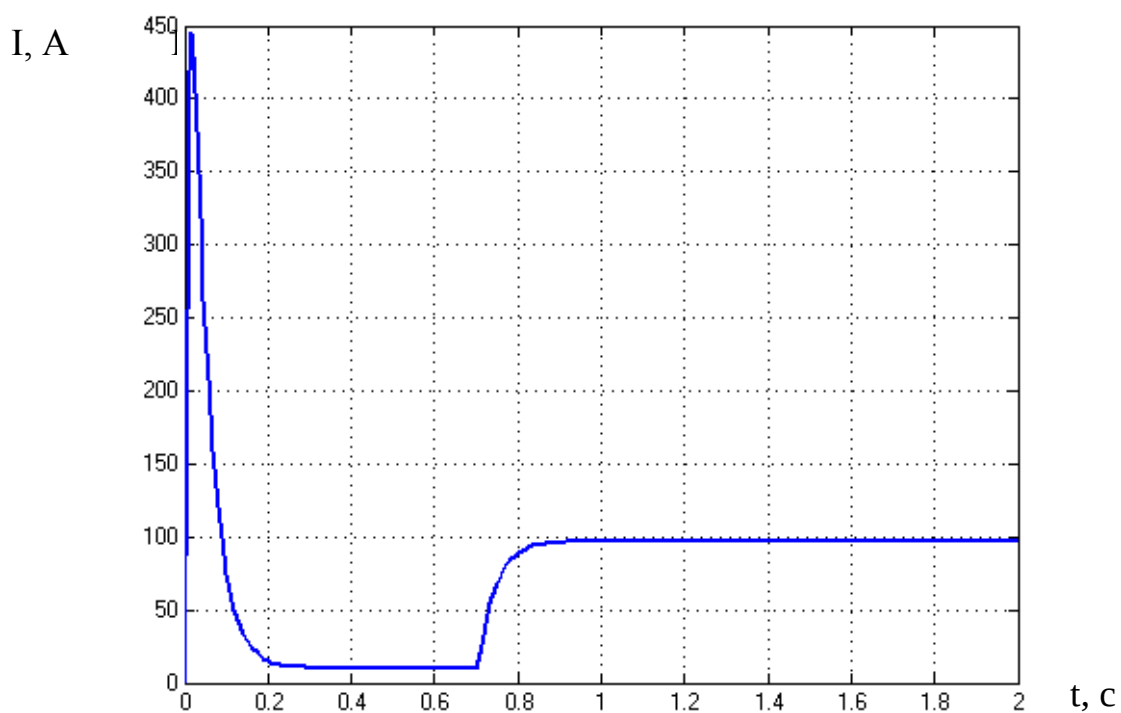


Рис. 2.6. Осцилограма зміни струму якоря двигуна під час пуску з номінальним навантаженням, що подається через 0,7с
(розроблено автором)

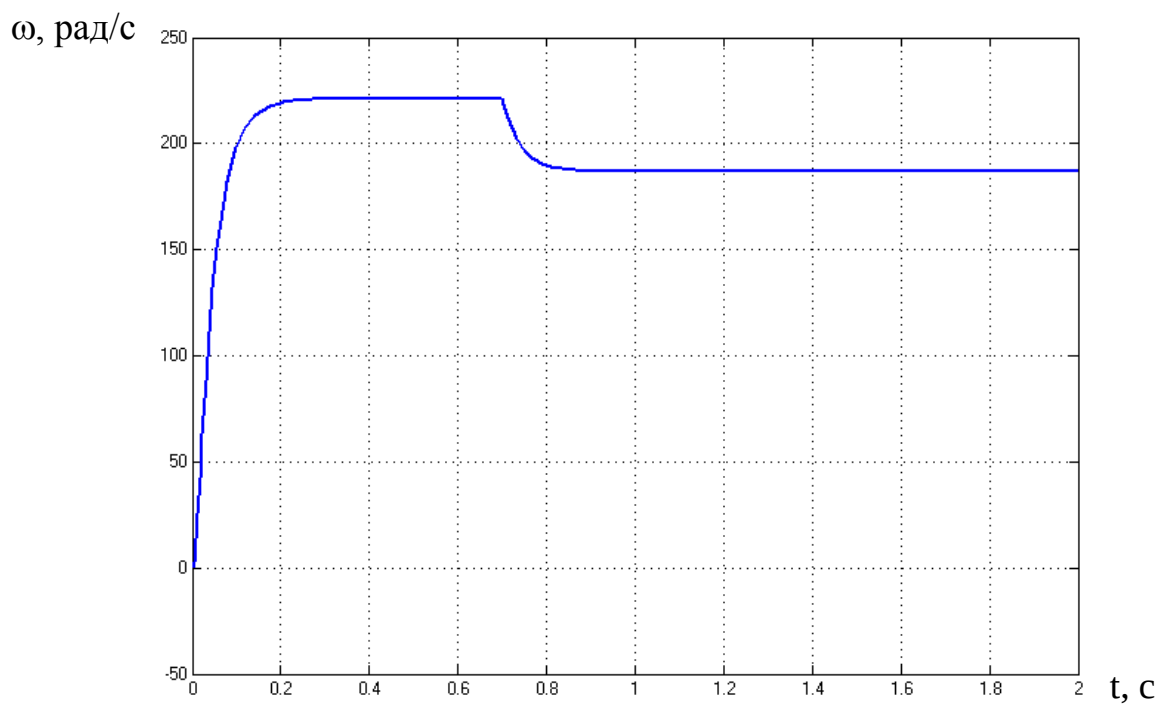


Рис. 2.7. Осцилограма зміни швидкості обертання двигуна під час пуску з накидом номінального навантаження через 0,5с
(розроблено автором)

Аналіз результатів моделювання показує: швидкість досягає номінального значення 225,14 рад/с за 0,3 с. Струм під час пуску перевищує номінальний, що пов'язано з відсутністю струмообмеження у розімкненій системі.

За отриманим графіком для швидкості (див. рис. 2.7), статизм складає

$$\nu = \frac{\omega_n - \omega_{\text{встан}}}{\omega_n} \cdot 100\% = \frac{225.1475 - 187.1}{187.1} \cdot 100\% = 16.9\%, \quad (2.22)$$

де ω_n - номінальне значення швидкості ЕД;

$\omega_{\text{встан}}$ - стале значення швидкості ЕД.

Оскільки перехідні процеси у розімкненій системі не відповідають технічним вимогам, застосовують замкнену САР зі зворотними зв'язками.

2.5 Моделювання та аналіз статичних та динамічних режимів замкненої системи в пуско-гальмівних режимах та при навантаженні

При проектуванні систем автоматичного керування визначають динамічні характеристики всіх компонентів, за якими налаштовують підсистеми на оптимальні режими. Детальний аналіз характеристик виконують методами імітаційного моделювання [9].

Параметри структурної схеми (рис. 2.8) визначено в попередніх розрахунках:

Передатна функція регулятора струму якоря

$$W_{p_{\text{ся}}}(p) = \frac{Re \cdot (p \cdot Te + 1)}{p \cdot T_{\text{ся}} \cdot K_{\text{впЯ}} \cdot K_{\text{ся}}} \quad (2.23)$$

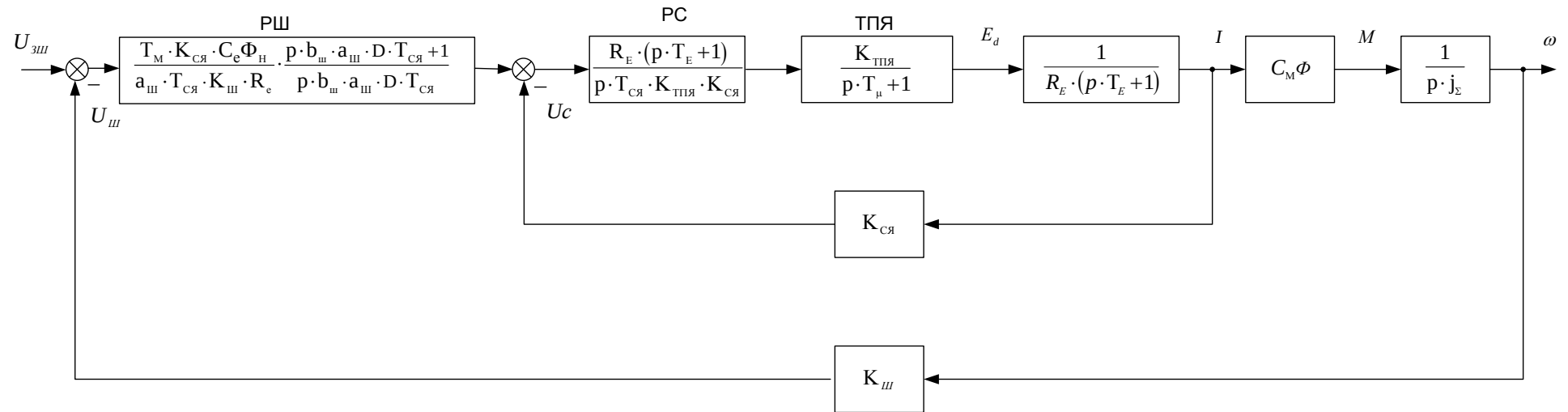


Рис. 2.8. Структурна схема системи керування приводом трайбапарату
(розроблено автором)

Передатна функція регулятора швидкості

$$W_{pid}(p) = \frac{T_M \cdot K_{сЯ} \cdot C_e \Phi_H}{a_{ш} \cdot T_{сЯ} \cdot K_{ш} \cdot R_e} \cdot \frac{p \cdot b_{ш} \cdot a_{ш} \cdot D \cdot T_{сЯ} + 1}{p \cdot b_{ш} \cdot a_{ш} \cdot D \cdot T_{сЯ}} \quad (2.24)$$

Моделювання системи електропривода трайбапарату виконано засобами пакета MATLAB/Simulink за структурною схемою системи.

За структурною схемою алгоритму будуюмо модель системи в нотації MATLAB і вносимо розраховані параметри.

Спочатку збираємо схему контуру регулювання струму рис. 2.9

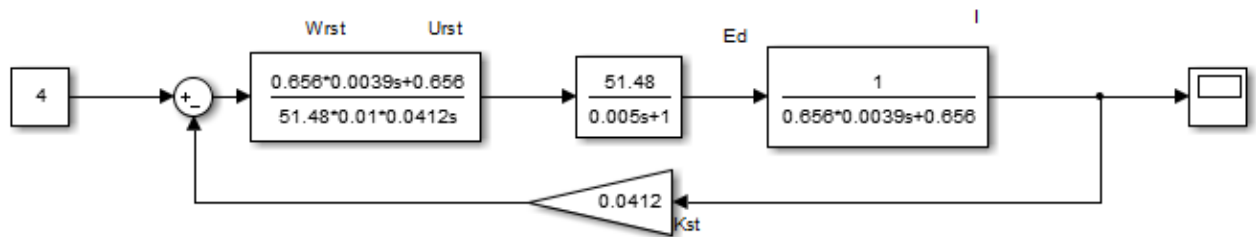


Рис. 2.9. Структурна схема контуру струму
(розроблено автором)

За результатами моделювання отримано графік перехідного процесу струму (рис. 2.10).

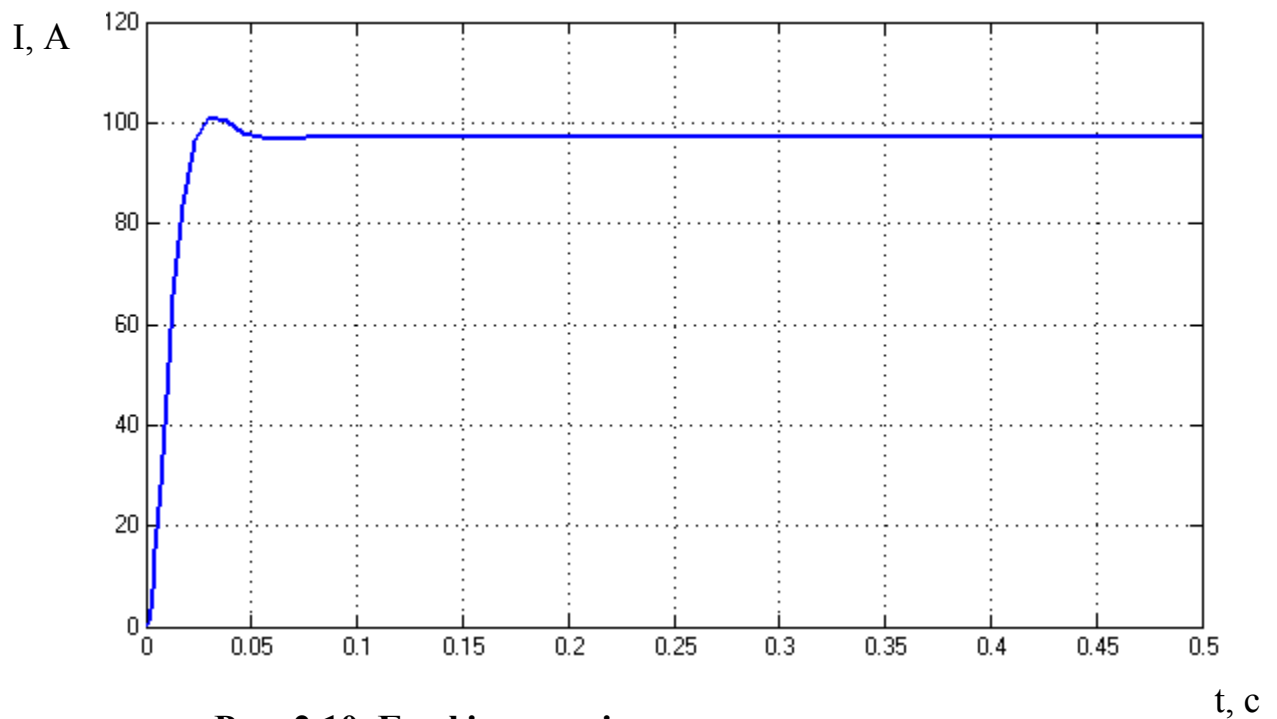


Рис. 2.10. Графік перехідного процесу по струму
(розроблено автором)

При завданні 3,3 В струм досягає номінального значення за 0,06 с;
перерегулювання по струму -

$$\sigma_I = ((101-97)/97)*100\% = 4,1\%, \quad (2.25)$$

що відповідає налаштуванню на МО.

Збираємо схему контуру регулювання струму й швидкості рис. 2.11,

Виконано імітаційне моделювання замкненої системи електропривода.
Перехідні процеси наведено на рис. 2.12.

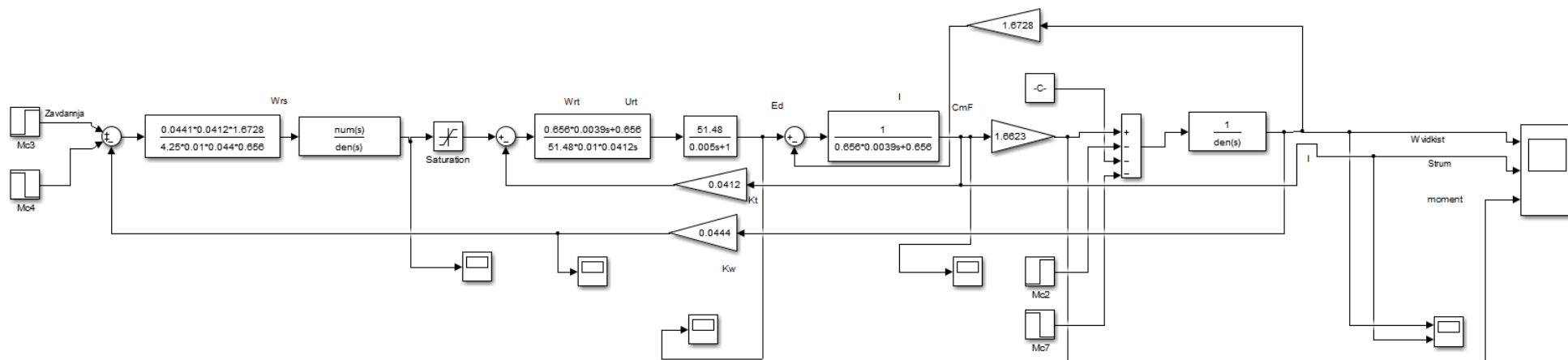


Рис. 2.11. Структурна схема контуру струму й швидкості
(розроблено автором)

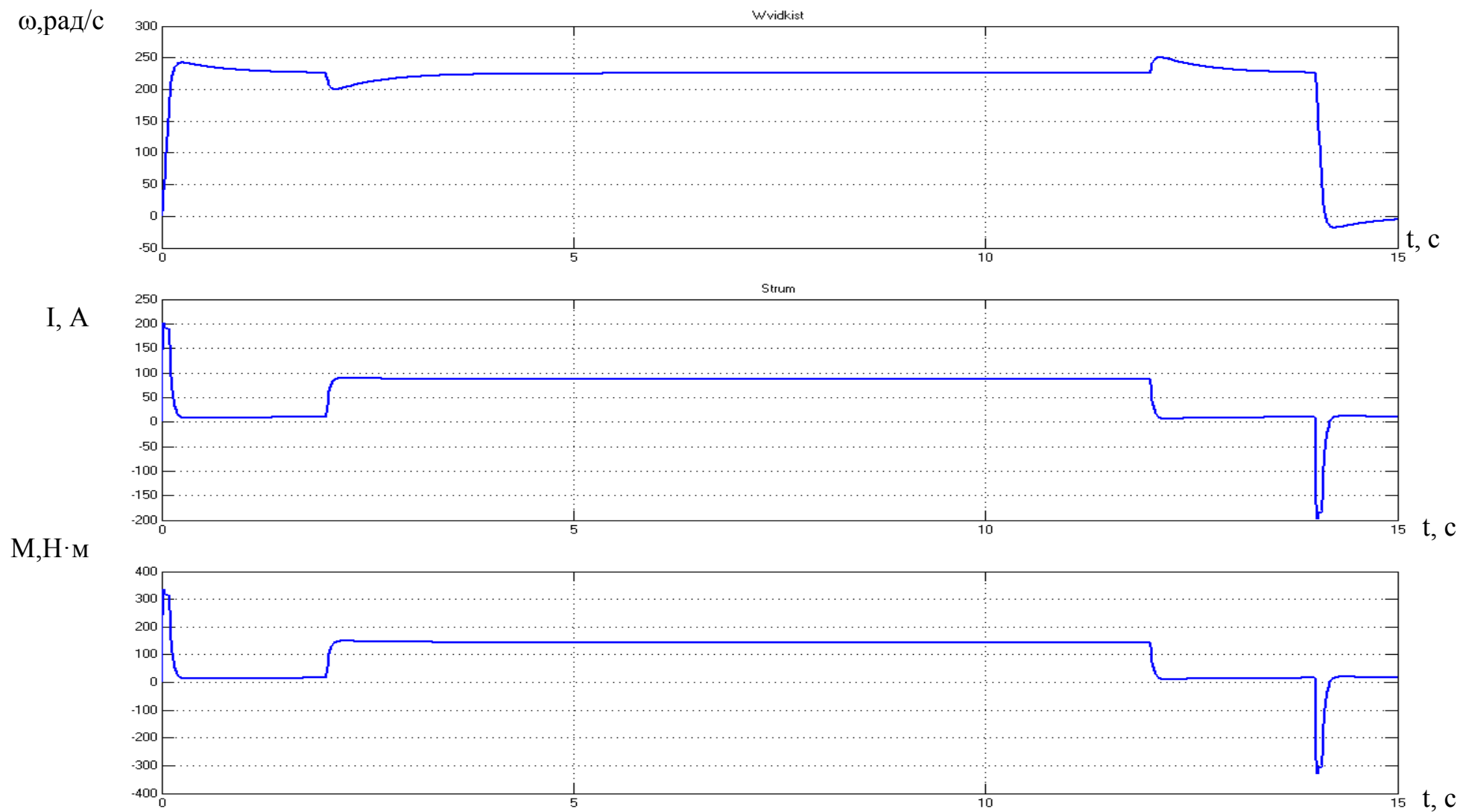


Рис. 2.12. Графіки перехідного процесу по швидкості, струму та моменту двигуна трайбапарату в режимі подавання заготівель
(розроблено автором)

Моделювання підтверджує: максимальний пусковий струм - 195 А, перерегулювання - не більше 4,3 %. Порівняно з $I_n = 97$ А це відповідає двократному обмеженню струму.

Перерегулювання по швидкості становить

$$\sigma_{ш} = (238-225)/225 * 100\% = 5,77\%, \quad (2.26)$$

що не суперечить вимогам до електроприводу, згідно яких $\sigma \leq 6\%$.

Після розгону до номінальної швидкості за 0,6 с на 2-й секундні змодельовано захід заготівлі. Це спричинило короткочасне просідання швидкості, але завдяки ПІ-регулятору швидкість відновлюється до встановленого значення 225 рад/с, що підтверджує астатизм замкненої системи. На 10-й секундні заготівля виходить з трайбапарату - навантаження знижується, виникає перехідний процес. Після цього подається команда на гальмування.

Розроблена модель адекватно відтворює процеси реальної електромеханічної системи. Модель дозволяє оцінити вплив параметрів налаштування на динаміку системи. Завдяки універсальності підходу, підставляючи параметри конкретного механізму, отримують прогнозні характеристики приводу.

Точність моделі можна підвищити, враховуючи зазори в редукторі та нелінійність ТП у зоні переривчастих струмів.

2.6 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності

Цей підрозділ присвячено аналізу умов праці у ДС-150-1 СПЦ-1. Ідентифіковано шкідливі та небезпечні виробничі фактори, запропоновано заходи з їх зниження, виконано розрахунок освітленості та розглянуто питання пожежної безпеки.

2.6.1 Вибір і характеристика будівельного майданчика цеху СПЦ-1

Проект передбачає удосконалення системи керування ЕП трайбапарату в межах чинного цеху СПЦ-1. Оскільки клас шкідливості та санітарно-захисна зона не змінюються, вибір будівельного майданчика не виконується.

2.6.2 Аналіз основних шкідливих та небезпечних чинників СПЦ-1

ДС-150-1 - складний виробничий комплекс, оснащений різноманітним механічним, електричним та підйомно-транспортним обладнанням. Безпечне обслуговування вимагає суворого дотримання правил охорони праці та виробничої санітарії [10]. Умови праці на стані характеризуються наявністю різних шкідливих факторів, таких як тепловипромінювання, загазованість, шум та пил.

Значним шкідливим чинником прокатного виробництва є підвищена температура робочого середовища. Влітку поблизу клітей температура повітря сягає 39-43 °С, що перевищує нормативне значення 16-27 °С. Тривалий вплив такого теплового навантаження негативно позначається на серцево-судинній системі та призводить до перегрівання організму [10].

Небезпечним фактором є вдихання часток металевого пилу розміром менше 60 мкм, що осідають у легеневій тканині та можуть спричиняти пиловий бронхіт.

У цеху повітря забруднюється пилом від прокатки та обробки металу. Фактична концентрація - 8,9 мг/м³ перевищує норму 6,0 мг/м³, що негативно впливає на здоров'я (табл. 1.1).

Таблиця 2.1

Оцінка факторів виробничого середовища

№ п/п	Шкідливості виробництва	Одиниці виміру	Нормативні значення	Фактичні значення	Час дії фактора за зміну, %
1	Шкідливі хімічні речовини (CO ₂)	мг/м ³	2,0	3,0	91,7
2	Пил фіброгенної дії, пил металевий	мг/м ³	6,0	8,9	91,7
3	Шум	дБ(А)	80	86	91,7
4	Вібрація	дБ(А)	92	90	91,7
5	Інфрачервоне випромінювання	Вт/м ²	140	700	91,7
6	Температура повітря	°C	16/27	24- 43	91,7
7	Відносна вологість	%	65	67	91,7

На стані головну небезпеку отруєння газом представляє окис вуглецю. Міститься в значній кількості доменного газу, який використовують під час нагрівання заготовок у методичній печі, окис вуглецю потрапляючи через легені в кров, зв'язується з гемоглобіном, внаслідок чого кров збіднена оксигемоглобіном, приносить кліткам організму недостатню кількість кисню, що веде до важких наслідків.

Підвищений рівень шуму також негативно впливає на здоров'я: спричиняє втому, головний біль та зниження слуху.

У сортопрокатному цеху джерела механічного шуму різноманітні:

зубчасті передачі, підшипники, кривошипні механізми, а також транспортування металу по рольгангах, його деформація та різання.

Поширеними джерелами аеродинамічного шуму є вентиляційне обладнання для забору та розподілу повітря, і газові струмені, що випускаються в атмосферу.

Рухомі частини обладнання ДС-150-1 становлять небезпеку травмування. Підвищений ризик створюють виступаючі болти, шпонки та зони, де деталі обертаються назустріч (прокатні валки), утворюючи захватно-затягувальну зону.

Машинний зал є зоною підвищеної електробезпеки через потужне електрообладнання та застосування електроінструменту.

Відповідно до [10], машинний зал ДС-150-1 віднесений до особливо небезпечних приміщень через такі фактори:

- наявність струмопровідних підлог;
- висока температура (вище 35°C);

ризик контакту з незахищеними струмовідними частинами - шинами, тролеями мостових кранів і передавального візка.

На всіх ділянках стану рівень освітленості є недостатнім. Малий парк світильників збільшує ризик травматизму.

З огляду на зазначені фактори машинний зал ДС-150-1 є особливо небезпечним. Запропоновано комплекс заходів для мінімізації ризиків.

2.6.3 Заходи по зниженню і усуненню шкідливих та небезпечних чинників на стані

Захист від дії променистої енергії використовуємо екрани, що відбивають або поглинають променисте тепло які монтуємо на постах керування.

Для запобігання викиду полум'я і газів із нагрівальної печі кришки оглядових вікон щільно прилягають до корпусу. Тиск у печі підтримується не вище 2,8 мм вод. ст.

Для зниження концентрації шкідливих речовин застосовано місцеву витяжну вентиляцію. Додатковий захист - ЗІЗ: респіратори, окуляри та захисні маски.

Зниження рівня шуму досягають: заміною ударних деталей безударними; зменшенням маси рухомих частин; застосуванням матеріалів з малим коефіцієнтом шумоутворення; переходом від зворотно-поступального руху до обертального.

Найефективніший захід - зменшення інфразвуку безпосередньо в джерелі. Для механічних джерел застосовують: балансування обертючих мас; зміну частоти обертання, щоб уникнути резонансу з конструкцією; зниження акустичного імпедансу та використання дифракції.

Для зниження аеродинамічного інфразвуку використовують реактивні глушники різних конструкцій.

ЗІЗ від інфразвуку в діапазоні до 20 Гц малоефективні. При підвищеному звуковому тиску рекомендуються пружні пояси шириною до 20 см, що щільно облягають живіт.

При проектуванні заходів з віброізоляції мета - мінімізувати амплітуду коливань, що передаються через пружні прокладки.

Вібропоглинання досягається нанесенням пружно-в'язких матеріалів на вібруючі елементи. Основні методи: заміна циклічних процесів безперервними; застосування віброізоляційних матеріалів; якісний монтаж і динамічне балансування; динамічні гасники вібрації. Між машиною і фундаментом розміщують сталеві пружини або гумові прокладки. Залишкову вібрацію вимірюють і зменшують балансуванням до норми.

Кліті чистових груп зі швидкістю прокатки до 17 м/с та рольганги огорожені захисними сітками. Шпинделі, промвали і муфти закриті огорожами. Бирочна система забезпечує безпечне обслуговування механічного обладнання. По всьому стану діє звукова і світлова сигналізація про пуск, зупинку та аварії. В електроустановках до і вище 1 кВ застосовують ЗІЗ, заземлення та захисне відключення.

2.6.4 Розрахунок освітленості

Освітленість ділянок прокатного стану є незадовільною. У прольоті довжиною 126 м, шириною 28 м за умов середнього виділення пилю і диму нормативна мінімальна освітленість складає 50 лк. Освітлення виконано світильниками прямого світла на напругу 220 В з лампами потужністю 500 Вт.

Щоб забезпечити нормальної освітленості визначимо потужність освітлювальної установки й необхідну кількість ламп.

Потужність освітлювальної установки визначаємо по формулі:

$$W = \frac{E_n \cdot S \cdot K}{1000 \cdot E_{cp}}; \text{кВт} \quad (2.27)$$

де: E_n – нормована освітленість, лк;

S – площа прольоту стану, м^2 ;

K – коефіцієнт запасу установки, що враховує зниження освітленості внаслідок забруднення ламп й освітлювальної арматур, обираємо 1,5.

E_{cp} - середня горизонтальна освітленість, лк ($E_{cp} = 4,1$).

$$W_2 = \frac{50 \cdot 126 \cdot 28 \cdot 1,5}{1000 \cdot 4,1} = 64,5 \text{ кВт} \quad (2.28)$$

Потрібна кількість ламп, потужністю 500 Вт.

$$\Pi = \frac{W_2}{W_1} = \frac{64500}{500} = 129 \text{ штук} \quad (2.29)$$

Отже, кількість світильників для нормального освітлення станового прольоту потужністю 500 Вт повинна бути 129 штук. Враховуємо запас світильників і ламп у випадку виходу їх з ладу.

2.6.5 Вибір засобів індивідуального захисту

Вибір засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) виконано відповідно до вимог [11].

Засоби індивідуального захисту призначені для виконання захисту працівника від небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час виконання роботи [11].

Перелік та норми видачі ЗІЗ наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Норми видачі засобів індивідуального захисту на одного працівника

№ п/п	Засоби індивідуального захисту	Кількість, шт	Строк використання
1	Костюм х/б із просоченням	1	1 рік
2	Куртка ватяна	1	3 роки
3	Напівчоботи	1	1 рік
4	Каска	1	1 рік
5	Підшоломник	1	1 рік
6	Рукавиці	3	1 місяць
7	Респіратор «Пелюсток»	1	1 зміна
8	Захисні окуляри	1	1 рік
9	Мило	2	1 місяць

Захист органів подиху використовуємо респіратор типу «пелюстка».

Спеціальний одяг служить для захисту тіла людини від хімічних, термічних і механічних факторів, при цьому одяг повинен забезпечувати свободу рухів, зручність під час роботи.

Захист ніг людини від механічних ушкоджень використовуємо спеціальне взуття, для захисту рук використовуємо рукавиці, для захисту голови використовуємо каски. Захист очей від механічних, хімічних і термічних факторів використовуємо захисні окуляри. Мило використовуємо для гігієни працюючих від пилу, масла.

Відповідно до [12] та [13] електрообладнання в установках до і вище 1 кВ укомплектовують основними і додатковими засобами захисту.

Перелік захисних засобів і інструменту при обслуговуванні електрообладнання - у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Перелік захисних засобів

№ п/п	Найменування	Строки випробування
1	Ізолюючі штанги	1 раз в 2 роки
2	Вимірювальні кліщі	1 раз в 2 роки
3	Ізолюючі кліщі	1 раз в 2 роки
4	Діелектричні рукавички	2 рази в рік
5	Слюсарно-монтажний інструмент із ізольованими ручками до 1000 В	1 раз у рік
6	Показчик напруги вище 1000 В	1 раз в 2 роки
7	Діелектричні боти	1 раз в 3 роки
8	Діелектричні килимки	оглядаються 1 раз в 2 роки
9	Ізолюючі підставки	1 раз при виготовленні
10	Переносні заземлення	Не випробовуються

2.6.6 Вибір і розрахунок санітарно-побутових приміщень і обладнання

За санітарно-гігієнічною класифікацією [14] виробничий процес у СПЦ-1 належить до групи Пб.

Для групи Пб нормами передбачені: гардеробні, душові, умивальні, вбиральні, пункти харчування і питного водопостачання.

Гардеробні слугують для зберігання спецодягу. Кількість шаф розраховують на загальну чисельність персоналу плюс 5 % резерв.

Чисельність персоналу СПЦ-1 на стані МС 250-2 - 370 осіб. Обрано подвійні закриті шафи $50 \times 40 \times 165$ см у кількості $370 + 5 \% \approx 389$ шт. Решту приміщень розраховують за найбільшою зміною.

Найбільша зміна - 65 осіб. Душових сіток: $65/3 = 22$ шт. Кранів в умивальній: $65/20 = 4$ шт.

Душові й умивальні розташовані суміжно з гардеробними.

Їдальня на 17 місць (1/4 особи). У цеху - 4 питних фонтанчики і 4 автомати підсоленої газованої води для поповнення втрат рідини. У теплий сезон організовано пункт видачі білково-вітамінного напою.

Вбиральні - не далі 75 м від робочих місць. Кількість санітарних приладів: 1 прилад на 15 осіб.

Кожна вбиральня обладнана 4 санітарними приладами і 1 вмивальником (норма - 1 прилад на 15 осіб).

Медичну допомогу персоналу цеху цілодобово надає здоровпункт 4-ї категорії.

Таким чином, у цеху СПЦ-1 реалізовано комплекс заходів, що забезпечує нормативні санітарно-побутові умови.

2.6.7 Пожежна безпека

Приміщення дрібносортового стану 250-2 за вибухопожежною небезпекою відносять до категорії Г: у ньому використовують негорючі речовини в

гарячому або розжареному стані, обробка яких супроводжується виділенням іскор, полум'я та променистого тепла. Будівля стану споруджена із залізобетону й належить до групи неспалених матеріалів і конструкцій зі ступенем вогнестійкості II.

Пожежа може виникнути внаслідок витоку мастила, газу або короткого замикання в електромережі. Вибух можливий через хімічну реакцію окиснення мастила.

Протипожежний захист стану включає 4 гідранти з кроком 50 м (тиск 5-6 атм) і протипожежні щити з набором інвентарю: лом, лопати, сокири, відра, ящики з піском, вогнегасники.

На кожні 5000 м² цеху передбачено один пожежний щит з ломом, багром, відром і лопатою червоного кольору.

Ящики з піском як засіб пожежогасіння розміщені з кроком 20 м по всій площі цеху.

На ділянці холодильника змонтовано стаціонарну систему розпилення води (тиск до 5 атм) для автоматичного пожежогасіння.

У зонах чорнової та двох чистових груп розміщено 3 ящики з піском по 0,5 м³ - як первинні засоби пожежогасіння.

Маслопідвал обладнано автоматичною установкою пожежогасіння з функціями виявлення та ліквідації загорянь.

У двох машинних залах на спеціальних кронштейнах змонтовано по 6 вуглекислотних вогнегасників (12 шт. загалом) для гасіння електрообладнання.

Для пожежогасіння застосовують вогнегасники типів ВВ (вуглекислотні) і ВП (порошкові). Їх технічні характеристики наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Основні технічні характеристики вогнегасників

Показники	Одиниці виміру	Типи вогнегасників				
		ВВ – 2	ВВ – 5	ВВ – 8	ВП – 1	ВП - 2
Обсяг балона	л	2,0	5,0	8,0	40	2,4- 80
Довжина шланга з патрубком	м	–	–	1,52	9	9
Робочий тиск	атм	170	170	170	125	125
Вага балона без заряду	кг	4,8	9,7	14,87	72	250
Вага заряду рідкої вуглекислоти	кг	1,5	3,5	5,5	25	50

Для повідомлення пожежних підрозділів про виникнення пожежі на стані є телефонний зв'язок, для попередження працюючих про виникнення пожежі є звукова й світлова сигналізація. Схеми маршрутів евакуації працівників зі стана у разі виникнення пожежі, аварії, згідно плану евакуації.

Система блискавкозахисту включає три металеві блискавковідводи із заземлювальним контуром і дві шинові перемички зі смугової сталі. Опір заземлення кожного блискавковідводу ≤ 10 Ом (будівля III категорії блискавкозахисту).

ВИСНОВКИ

Відповідно до вимог, пред'явлених до системи електропривода трайбапарата, найбільш доцільна є система тиристорний перетворювач - двигун постійного струму з незалежним збудженням.

Виконано розрахунок потужності та обрано обладнання: двигун постійного струму Siemens 1GH5-162-0GJ4-6VV4 (36,3 кВт, $I_n = 97$ А) [4], тиристорний перетворювач КТЕУ-100/440-1320-УХЛ4 [5] і трансформатор ТСП-63/0.7УХЛ4 [6].

Розроблено систему автоматичного керування швидкістю трайбапарату стану ДС-150-1.

У системі виконується однозонне регулювання швидкості двигуна.

Розраховані й обрані елементи силової частини електропривода, визначено параметри силового обладнання. Синтезовано регулятори системи автоматичного керування.

Контур струму є внутрішнім і виконаний з від'ємним зворотним зв'язком по струму. Налаштування контуру струму виконує регулятор струму й налаштовується на модульний оптимум.

Контур регулювання швидкості є зовнішнім відносно контуру струму.

Щоб забезпечити нульової статичної погрішності при нахиді навантаження регулятор швидкості виконано пропорційно-інтегральним.

Для перевірки прийнятих рішень і оцінки якості АСК виконано імітаційне моделювання замкненої системи.

Метод дослідження - імітаційне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink на персональному комп'ютері. Імітаційну модель розроблено в пакеті MATLAB/Simulink.

На моделі досліджено основні режими роботи приводу: пуск, нахид навантаження та гальмування.

Оскільки розімкнена система керування не забезпечує необхідних якісних показників, була використана замкнена система підпорядкованого регулювання координат.

Перерегулювання по струму в замкненій системі не перевищує 4,3 %, що відповідає налаштуванню на модульний оптимум.

Розроблена модель адекватно відтворює реальні процеси електропривода трайбапарату. Вона придатна для оцінки впливу налаштувань на динаміку системи. Завдяки універсальності підходу підстановка параметрів будь-якого механізму дозволяє прогнозувати динамічні характеристики відповідного привода.

Точність моделі можна підвищити, враховуючи зазори в редукторі та нелінійність ТП у зоні переривчастих струмів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічна інструкція. Виробництво катанки і сортового прокату на безперервному дротовому стані 150-1 СПЦ-2. - 2001.
2. Методика визначення теоретичної маси квадратних заготовів перетином 80×80, 125×125 та 150×150 мм. Затверджено 14.05.2003.
3. Технічний паспорт на трайбапарат типу АВ006. 2003р.-4с.
4. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109482607/dc-motor-simotics-dc-1gh5?dti=0&lc=en-UA>
5. Кременчуцький завод промислових апаратів (Краз). Серія комплектних тиристорних електроприводів постійного струму КТЕУ. URL: <https://zprua.com/product/seriya-komplektnyx-tiristornyx-elektroprivodov-postoyannogo-toka-kte/> (дата звернення: 20.05.2026).
6. ЗПП «НЕОН», Україна, м. Запоріжжя, http://www.neonzpp.com.ua/index.php?id=1#!/products_trekhfaznye_sukhie_dlya_ra_zlichnykh_tselej
7. Компанія ТОВ НПО «УкрЕнергоРесурс» (Запоріжжя) <https://ua.bizorg.su/reaktsionnye-kamery-r/p5334018-fros65-0-5-u3>
8. Чорний А.П., Дудля В.В., Родькін Д.Й. та ін. Системи керування електроприводами / за ред. А.П. Чорного. - Кременчук: КДПУ, 2008. - 258 с.
9. Чиженко І.М. Довідник з перетворювальної техніки. - К.: Наукова думка, 1990. - 458 с.
10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>
11. НПАОП 0.00-3.03-81. Типові галузеві норми безплатної видачі спецодягу, спецвзуття та ЗІЗ для наскрізних професій.
12. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>
13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
14. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27263
15. Гушко С.В. Вимоги з оформлення письмових робіт у ДУЕТ. - Кривий Ріг, 2020. - 53 с.
16. Батарєєв В.А., Учитель О.В. Методичні вказівки до виконання випускних робіт за спеціальністю 141. - Кривий Ріг: ДУЕТ, 2021. - 5 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-Зд-2026врб

Автор

141-Зд-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документа

334133375

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

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



9680

Кількість слів



65821

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		14
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		80

Джерела

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

10 найдовших фразКопію тексту

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

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

Я, *Алексюк Андрій Миколайович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота

Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.
Електропривод трайбапарату дровового стану виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

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

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

01.06.2026