

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 та електромеханіка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Горбача Олександра Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод прокатної проміжної кліті №12 ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва теми)

за матеріалами з СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Рожненко Ж.Г.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 12.06. 2026 № 384-ст

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2026

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 СТУДЕНТА

Горбача Олександра Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод прокатної проміжної кліті №12 ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник випускної роботи Рожненко Жанна Георгіївна, доцент, к.т.н.

(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:

Об'єкт розробки - електропривод прокатної проміжної кліті №12 дротового стану ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; мета - заміна двигуна P=800 кВт на двигун P=630 кВт; тип двигуна - WMAJ 4524-480; номінальна потужність - 630 кВт; номінальна напруга - 600 В; номінальна швидкість - 500 об/хв; максимальна швидкість - 800 об/хв; номінальний струм якоря - 1140 А; максимальний струм - 1834 А; передавальне число редуктора - 3,15; максимальна швидкість прокатки - 120 м/с; система керування - ТП-Д з цифровими регуляторами підпорядкованого регулювання; живлення - 10 кВ через трансформатор TV1; тиристорний перетворювач - DC 660 В, 1600 А, 2500 кВА.

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

4.1 Аналітична частина: характеристика технологічного процесу дротового стану ДС-150-1; опис кінематики прокатної кліті №12; аналіз існуючого електропривода;

вимоги до системи автоматизації електропривода кліті; обґрунтування вибору системи ТП-Д. 4.2 Основна частина: розрахунок потужності приводного двигуна; вибір електродвигуна WMMAJ 4524-480 та тиристорного перетворювача; обґрунтування структури системи підпорядкованого регулювання; розрахунок параметрів незмінної частини об'єкта; розрахунок цифрових регуляторів струму якоря, збудження, ЕРС та швидкості; моделювання системи автоматичного регулювання в Matlab Simulink; розрахунок електропостачання, вибір силових кабелів та комутаційної апаратури; розрахунок струмів короткого замикання; заходи з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 ВРБ.141.238-ст.08.Е7 - Схема розташування обладнання; ВРБ.141.238-ст.08.Е2 - Схема електрична функціональна; ВРБ.141.238-ст.08.К1 - Схема кінематична; ВРБ.141.238-ст.08.Е1.1 - Схема електрична структурна; ВРБ.141.238-ст.08.Е1.2 - Схема електрична структурна математичної моделі; ВРБ.141.238-ст.08.Е0 - Графіки перехідних процесів; ВРБ.141.238-ст.08.Е3 - Схема електрична принципова

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Рожненко Ж.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Рожненко Ж.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Горбач О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Рожненко Ж.Г.

(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.	
1	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E7			Схема розташування	1			
2					обладнання				
3									
4	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E2			Схема електрична	1			
5					функціональна				
6									
7	A3	ВРБ.141.238-ст.08.K1			Схема	1			
8					кінематична				
9									
10	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E1.1			Схема електрична	1			
11					структурна				
12									
13	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E1.2			Схема електрична	1			
14					структурна				
15					математичної моделі				
16									
17	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E0			Графіки перехідних	1			
18					процесів				
19									
20	A3	ВРБ.141.238-ст.08.E3			Схема електрична	1			
21					принципова				
22									
23	A4	ВРБ.141.238-ст.08.ПЗ			Пояснювальна записка	72			
24									
					ВРБ.141.238-ст.08.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод прокатної проміжної кліті №12 ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».	Літера		Аркуш	Аркушів
Розроб.		Горбач О.М.						4	1
Пров.		Рожненко Ж.Г.							
Н.контр.		Рожненко Ж.Г.							
Затв.		Модло Є.О.			Відомість роботи	ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-23ск			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 72с, 7 рис., 3 табл., 39 джерел.

Об'єкт розробки – електропривод прокатної проміжної кліті №12 СПЦ-1 ДС-150-1

Мета роботи – заміна прокатного двигуна $P = 800\text{кВт}$ на двигун $P = 630\text{кВт}$, обґрунтування доцільності запропонованого рішення, розрахунок системи управління електроприводом, моделювання системи автоматичного регулювання, обґрунтування вибору цифрової системи керування й технічних характеристик, розрахунок економічної ефективності проектного рішення.

Визначено ряд порівняльних характеристик різних систем керування електроприводом.

Виконано моделювання системи автоматичного регулювання електроприводом. Метою дослідження є підтвердження ефективності прийнятих раніше рішень.

Результати роботи можуть стати основою для створення реальної установки, яка забезпечить безперебійну роботу та економію на електроенергії.

Ключові слова: вимикач кола якоря, датчик, двигун постійного струму, електропривод, катанка, момент інерції, обмотка збудження, прокатна проміжна кліть, тахогенератор, тиристорний перетворювач, цифрові регулятори, якір.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика технологічного процесу	9
1.2 Опис кінематики кліті.....	17
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Вимоги до системи автоматизації електропривода кліті.....	18
2.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода	18
2.3 Розрахунок потужності приводного двигуна.....	19
2.4 Вибір електрообладнання для приводу прокатної кліті	22
2.4.1 Тиристорний перетворювач якірного кола електродвигуна	22
2.5 Обґрунтування структури системи автоматичного регулювання електропривода.....	23
2.6 Розрахунок параметрів незмінної частини об'єкта	24
2.7 Розрахунок цифрової системи керування і аналіз динамічних режимів.....	27
2.7.1 Обґрунтування вибору цифрової системи регулювання	27
2.7.2 Розрахунок параметрів цифрових регуляторів САК.....	28
2.7.3 Системи керування, регулювання, захисту та сигналізації кліті №12	40
2.8 Моделювання системи автоматичного регулювання електроприводом	41
2.9 Електропостачання	42
2.9.1 Розрахунок електричних навантажень проміжної кліті.....	42
2.9.2 Вибір силових живильних кабелів	43
2.9.3 Вибір силової комутаційної апаратури.....	44

2.9.4 Захист електропривода.....	44
2.9.5 Розрахунок струмів короткого замикання.....	45
2.10 Охорона праці.....	48
2.10.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників	49
2.10.2 Заходи з усунення шкідливих чинників	49
2.10.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди шкідливих і небезпечних чинників.....	54
2.10.3.1 Засоби індивідуального захисту.....	62
2.10.3.2 Санітарно – побутові приміщення і пристрої	64
2.10.4 Пожежна безпека.....	64
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70

ВСТУП

Технологія прокату металу складається з декількох підготовчих і основних технологічних процесів. Їх автоматизація є одним з найважливіших чинників підвищення продуктивності та якості продукції і поліпшення умов праці. Робочі кліті прокатного стану відносяться до основних пристроїв стану, процес прокатки без яких - неможливий.

Всі існуючі об'єкти промисловості тією чи іншою мірою оснащуються засобами автоматизації. Впровадження автоматизованого електропривода за системою ТП-Д сприяє підвищенню економічності і продуктивності прокатного виробництва.

Прокатне виробництво висуває найрізноманітніші вимоги до систем автоматизованого електропривода, що є енергетичну основу механізації і автоматизації виробничих процесів, пов'язаних з використанням механічної енергії.

Сучасний автоматизований електропривод - це регульований електропривод. Розвиток техніки в усіх областях народного господарства значно підвищив потребу в електроприводах з регулюванням кутової швидкості і моменту. Нині, при розробці регулюючого електропривода, приділяється велика увага енергетичним показникам приводів, а також підвищенню ефективності та надійності їх роботи.

Під економічністю електропривода слід розуміти не тільки його мінімальну вартість і високий ККД, але і таку властивість електропривода як керованість. Висока економічність регульованого електропривода означає можливість роботи в режимах що задані технологічними умовами з найбільшою продуктивністю і найменшими - питомими витратами.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка і модернізація системи автоматизованого електропривода на базі системи тиристорний перетворювач - двигун.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика технологічного процесу

Безперервний дротовий стан ПС-150-1 призначений для виробництва катанки і сортового прокату шляхом нагрівання і прокатки вихідних квадратних заготовок перетином 125x125мм (150x150) з відповідних марок сталі.

Дротяний стан складається: з нагрівальної печі, 14 горизонтальних клітей дуо, 4-х горизонтальних і 4-х вертикальних клітей міні-блоків, 2-х десятикліткових дротяних блоків, установки двостадійного охолодження катанки і устаткування хвостовій частини. Стан обладнаний робочими клітями, розділеними на наступні групи: чорнова -8 клітей, 1-а проміжна -6 клітей, 2-га проміжна -2 групи по 2 міні-блоку і по 4 кліті в кожному міні-блоці чистові – 2і групи з десятиклітковим блоком клітей в кожній (з них 5 вертикальних і 5 горизонтальних). Прокатка на стані ведеться в дві нитки в чорновій 1-й проміжній групі клітей і в одну нитку - в клітях 2-ї проміжної групи і дротяних блоках.

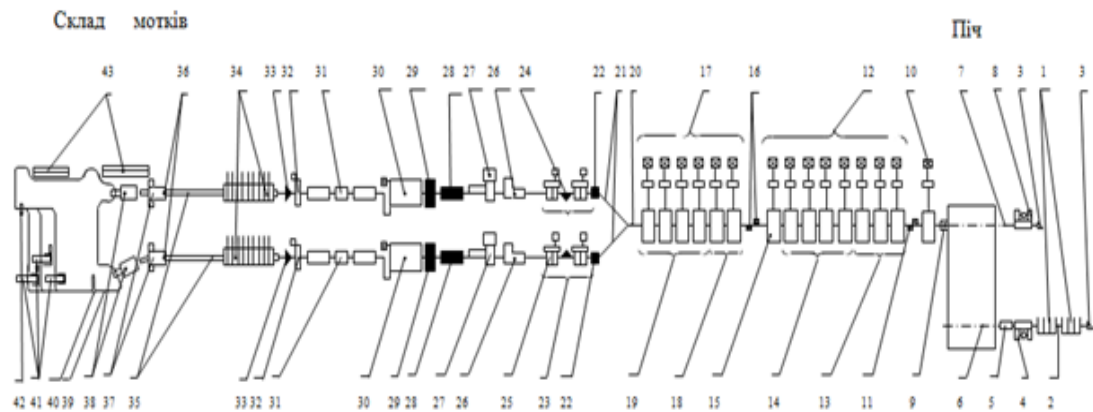
Максимальна швидкість прокатки – 120 м/с. розрахункова робоча швидкість від 23м/с до 100 м/с залежно від прокатуваного профілю. Стан обладнаний лініями регульованого двостадійного охолодження прокату, механізованими системами управління плющення і стеження за розкатом, а також локальними системами автоматичного регулювання та керування технологічними агрегатами і механізмами.

ДС-150-1 призначений для виробництва катанки і круглої сортової сталі діаметром 5.5 -14 мм за ДСТУ 4738/ГОСТ 2590 і арматурної сталі 5.5-14мм з відповідними стандартами і технічними умовами, в мотках масою до 2-х тонн. Устаткування стану, та й технологія прокатки дозволяє виробляти прокат з допусками за діаметром:

- катанка, мм.- 5.5-9
- сталь кругла, мм.- 10-14

- арматурна сталь, мм.-5.5

ПС- 150-1



1-Завантажувальні решітки; 2-підвідний рольганг; 3-упор; 4-штовхувач з збиральним стелажем; 5- рольгангові ваги; 6- нагрівальна піч; 7- відвідний рольганг; 8- зіштовхувач з збиральним стелажем; 9- рольганг зі стрілкою; 10- тягнучий апарат; 11- двониткові розривні ножиці; 12- чорнова група; 13- кліті дуо "670"; 14- кліті дуо "490"; 15- кліть дуо "390"; 16- скрапні кривошипні ножиці; 17-1-а проміжна група клітей; 18- кліті дуо "390"; 19- кліті дуо "340"; 20- розподільна стрілка; 21- напрямні з петлеутворювачем; 22- одониточні розривні ножниці; 23- 11-я проміжна група клітей; 24- вертикальний петлеутворювач; 25- прокатні міні-блоки "2*215"; 26- лінія водяного охолодження; 27- універсальні ножиці; 28- горизонтальний петлерегулятор (петельний стіл); 29- утримуючі ножиці; 30- десятиклітьові чистові блоки "170/150"; 31- ділянка водяного охолодження; 32- тягнучий апарат; 33- укладач витків; 34- вентиляторна система охолодження; 35- роликовий транспортер; 36- рольганг прибирання витків; 37 - накопичувач витків (накопичувач витків); 38- вантажний візок; 39 - гаковий конвеєр; 40- інспекційна ділянка; 41- пристрої для підпресовки і ув'язування мотків; 42- ваги; 43- кроковий транспортер

Рис. 1.1. Схема розташування обладнання дротового стану ДС-150-1

(розроблено автором)

Оскільки на другому етапі реконструкції передбачено збільшення вихідного перетину 150x150, між піччю і кліттю №3 резервується місце для двох додаткових клітей. До встановлення клітей 1 і 2 на виконанні під них фундаменти встановлюються двониткові жолоби. Залежно від кінцевого перетину металу деформація здійснюється за 18 і 26 проходів. У чорновій і першій проміжній групах плющення ведеться в дві нитки з невеликим натягненням. У провідці між двониткою першою проміжною групою і другою проміжною групами, для кожної нитки передбачений петлеутворювач. Між клітьями двоклітьових прокатних блоків плющення ведеться з невеликим натягненням. Завдяки використанню петлерегуляторів між двоклітьовими прокатними блоками і перед чистовим блоком, на цій ділянці, плющення можна вести без натягу. Чергування горизонтальних і вертикальних клітей в чистовому блоці гарантує плющення без кантівки. У чистовому блоці прокатка здійснюється з невеликим натягненням. Чергування горизонтальних і вертикальних клітей під кутом 90 градусів у поєднанні з подачею розкату без натягнення, системи калібрів овал-круг і впровадження високостійких прокатних дисків, забезпечує виробництво катанки з необхідними вузькими допусками. Доцільна проводкова арматура забезпечує напрям розкату безпосередньо у працюючих клітей і прокатних блоків.

Необхідна кантовка металу на ділянці чорнової групи і першої проміжної групи проводиться за допомогою окремої роликової арматури, встановленої з вихідного боку робочих клітей. Проводки, встановлені між деякими робочими клітьями чорнової групи і багатоланкові проводки між першою проміжною групою та іншими проміжними групами направляють розкат у наступну кліть. За допомогою стрілок здійснюється перехід з однієї нитки на іншу. Перед робочою кліттю чистових блоків встановлені двониточні розривні ножиці, які забезпечують чистий різ у разі неполадок у відповідній нитці і запобігають подальшу подачу заготовки в проміжну

групу. Відповідна робота різу виконується головними приводами робочих клітей, причому ножі заготівлі встановлюються пневматичним шляхом.

Після чорнової групи кривошипними ножицями обрізається передній кінець смуги, щоб створювати сприятливі умови для подачі металу в першу проміжну групу. У разі необхідності також можна обрізати задній кінець (багатопозиційний вимикач). При обрізанні ножиці працюють в режимі запусків. Подача сигналу на різ здійснюється автоматично датчиками імпульсів. При аварії на подальшому обладнанні ножиці перемикаються на безперервний режим роботи і смуга розрізається на транспортабельні скрапові шматки. Команду на подачу імпульсу, перемикаючого ножиці на безперервний режим дає оператор з поста управління. Обривні ножиці, встановлені перед другою проміжною групою, при аваріях в цій групі розрізають смугу. Автоматична подача сигналу на аварійний різ здійснюється системою для контролю проходження смуги за допомогою датчиків положення для петлерегуляторів, а також контактними кільцями в прокатних блоках №115,117. Ножицями перед блоком чистових клітей обрізається передній кінець смуги і в разі потреби також задній кінець.

Універсальні ножиці працюють в безперервному режимі, причому сигнал на обрізку подається автоматично датчиком імпульсів і ця операція здійснюється переміщенням пневматичної направляючої труби при команді на аварійний різ, яка подається автоматично або оператором, смуга проводкою направляється в аварійний струмок ножиць, оснащений декількома парами ножів. У всіх ножиць обрізки та аварійний скрап збираються разом в скраповому коробі. У ножиць після чорнової групи на візку, що пересуваються в поперечному напрямку встановлені два скрапових короба. Якщо один короб заповнений, під час прокатки за короткий час можна здійснити зміну коробів. Для швидкої зміни клітей на кожну активну кліть передбачена змінна кліть. Для запобігання накопичення великої кількості матеріалу між клітями прокатних блоків перед кожним чистовим блоком встановлені утримуючі ножиці, які при аваріях в блоці виконують

аварійний різ і таким чином припиняють подальшу подачу розкату. Сигнал різку подається автоматично самим розкатом (контактні кільці).

Перед чистовим блоком передбачений холодильник. За допомогою напірної води можна знизити вихідну температуру в чистовому блоці і впливати на одержання необхідної структури катанки. Зміна прокатних шайб прокатних блоків 2х215 можлива за короткий проміжок часу завдяки використанню валів з консольним кріпленням, а також застосуванню відповідних пристроїв. Тиск води і, тим самим, кількість води може бути задана попередньо з поста управління залежно від діаметра прокату, швидкості прокатки і марки сталі. Приладами за чистовими блоками постійно контролюється якість поверхні катанки. Можливо необхідна корекція розчину між валками проводиться вручну. Контрольна діяльність та операції управління ведуться з центрального поста управління.

Ділянка обробки катанки приймає катанку, що має температуру прокатки і виходить з відповідно останньої робочої кліті чистового блоку впливає на утворення структури і додає смузі форму бунту, відповідно вимогам транспортування. Прокат через підвідні проводки, виконані у вигляді ділянки первинного охолодження, подається до укладач витків. Під час проходження через ділянку первинного охолодження вплив на утворення структури виявляється регулюванням швидкості охолодження внаслідок того що катанка охолоджується водою високого тиску до зрівняльної температури приблизно 800°С. Холодильні труби працюють за прямотечійним принципом, тобто подача охолоджувальної води здійснюється у напрямку прокатки. Тиск води і, тим самим, кількість води може бути задане заздалегідь з поста керування залежно від діаметру прокату, швидкості прокатки і марки сталі. У магістральному трубопроводі подачі води високого тиску незалежно від підключення або відключення холодильних труб постійність тиску підтримується через регулятор постійного тиску.

Тягнучий апарат катанки, встановлений безпосередньо перед виткоукладчиком, підтримує вхід катанки в похило розташований укладач

витків. Вибір числа обертів укладач витків визначається оптимальною формою укладання витків. Сформовані укладачем виткі витки катанки падають на транспортер витків, який транспортує їх до накопичувача витків.

Транспортер витків розділяється на три ділянки. Перша ділянка складається з секції з декількома приводними роликами для надійного прийому та транспортування віялоподібних витків катанки. Друга і третя ділянки виконані у вигляді роликового конвеєра для витків, секції якого працюють від регульованих електроприводів. Вони служать одночасно як ділянка вторинного охолодження, причому на другій ділянці встановлена лінія термообробки. На ділянці вторинного охолодження на структуру матеріалу впливають через регулювання швидкістю охолодження. Віялоподібні витки охолоджуються до температури $< 200^{\circ}\text{C}$. З повітряним потоком, створюваним вентиляторами в одній нитці. Повітряний потік від вентиляторної установки через повітря направляючі пристрої направляється знизу до витків катанки. У марок сталей, для яких передбачено прискорене охолодження в повітряному потоці, на другій і третій ділянці здійснюється постійне охолодження з примусовою вентиляцією, причому кількість включених вентиляторів залежить від марок сталі, що прокочуються. При цьому пов'язані сюди теплоізолюючі кришки окремих секцій ділянки термообробки відкриті. У марок сталей, для яких передбачено уповільнене охолодження в певних діапазонах температури і часу, слід закрити потрібну кількість кришок окремих секцій ділянки термообробки і відключати відповідні вентилятори. При уповільненому охолодженні паузи прокатки повинні бути збільшені приблизно до 20 секунд, відповідно з малою швидкістю транспортування на ділянках транспортера витків 1 і 2.

На третій ділянці транспортера витків безперервно виконується охолодження примусовою вентиляцією. За ділянкою термообробки між другою і третьою ділянками транспортера витків знаходиться щабель висотою 340 мм. Вона слугує для розкладки тісно прилеглих один до одного витків катанки, що виходять з ділянки термообробки після уповільненого

охолодження. Тому третя ділянка при розкладці працює на вищій швидкості ніж перша і друга ділянки. Між транспортером витків і рольгангом накопичувача витків знаходиться друга ступінь висотою приблизно 340мм, що дозволяє налаштувати оптимальну швидкість витків катанки в збиральній шахті. Накопичувач витків складається з вхідного роликового конвеєра, швидкість якого може регулюватися незалежно від швидкості транспортера витків, а також з збиральної шахти з уловлюючими консолями для формування проміжного збірної рівня і допоміжного дорна. Під накопичувачем витків розташовані центруючий пристрій і поворотний круг з обома збиральними дорнами. Центруючий пристрій можна повертати. Вісь обертання поворотного круга розташована похило, так що один збірний дорн розташований у вертикальному положенні, а інший – в злегка похилому положенні. За допомогою підйомного пристрою, що знаходиться в поворотному колі, можна підіймати і опускати кришку збірних дорнів. Процес накопичення відбувається в такий спосіб : витки падають в збиральну шахту і при цьому центруються зовні шахтою і закритим центруючим пристроєм.

Після накопичення бунту на збірному дорні поворотного круга центруючий пристрій виходить із зони накопичення. Потім уловлювальні консолі вводяться в збиральну шахту і перші витки подальшого прутка збираються на них. Одночасно уловлювальні консолі тримають допоміжну оправку так, щоб можна було опустити кришку збірної дорна і повернути поворотний круг на 180° . В наслідок цього заповнений бунтом дорн опиняється в горизонтальному положенні, а порожній дорн – у вертикальному положенні. Для передачі бунту зі злегка нахилоного дорна поворотного круга на гак Power and Free системи конвеєра для бунтів служить вантажний візок. Вона оснащена приводом переміщення, підйомним пристроєм, поворотними утримуючими консолями і натискним пристроєм. Вантажний візок під'їжджає під бунт, підіймає його, заводить утримуючі консолі, підводить натискний пристрій до бунту так, щоб кінцеві витки не

могли зіскочити, наїжджає з бунтом на гак, що стоїть в готовності передає бунт на нього за допомогою опускання та виведення утримуючих консолей. Завантажений гак через замикання в тяговий коло транспортується до інспекційної ділянки і там знову зупиняється. На цьому місці може бути проведена експертиза бунтів.

Інспекційна ділянка виступає одночасно як ділянка накопичення. Тут в разі аварії на подальшому устаткуванні певний час залежно від програми можуть накопичуватися бунти без припинення процесу прокатки. Після цього бунти транспортуються далі до установок для підпресування і ув'язки бунтів, де вони підпресовуються і обв'язуються чотирма витками дроту. На шляху подальшого транспортування до одного з трьох місць розвантаження бунти проходять ваги, де визначається, показується і реєструється маса. Показання вагові значення передаються до маркувального механізму з дистанційним керуванням і наносяться їм, поряд з іншими даними, на бирку. Бирку після цього можна вручну підвісити до бунту. На місці розвантаження в прольоті 3-и гаки можуть бути зупинені і бунти знімаються з гаків за допомогою розвантажувального візка ті укладаються на стелаж для бунтів. Для цього розвантажувальний візок обладнаний приводом пересування та підйомним пристроєм. На стелажі для бунтів можна укласти або 3 бунти по 1,45 т. кожен або 2 бунти по 2,1 т. Зазвичай на одному з місць розвантаження в прольоті І-К гаки зупиняються, бунт за допомогою розвантажувального візка знімається з гака і передається на кроковий транспортер, Рухливі несучі балки крокового транспортера підхоплюють бунт і кладуть його на нерухомі несучі балки.

1.2 Опис кінематики кліті

Об'єктом автоматизації є прокатна кліть №12 проміжної групи клітей дротяного стану ПС - 150 - 1. Технічні параметри кліті:

Можливий діаметр валків:

Максимальний, мм.....350

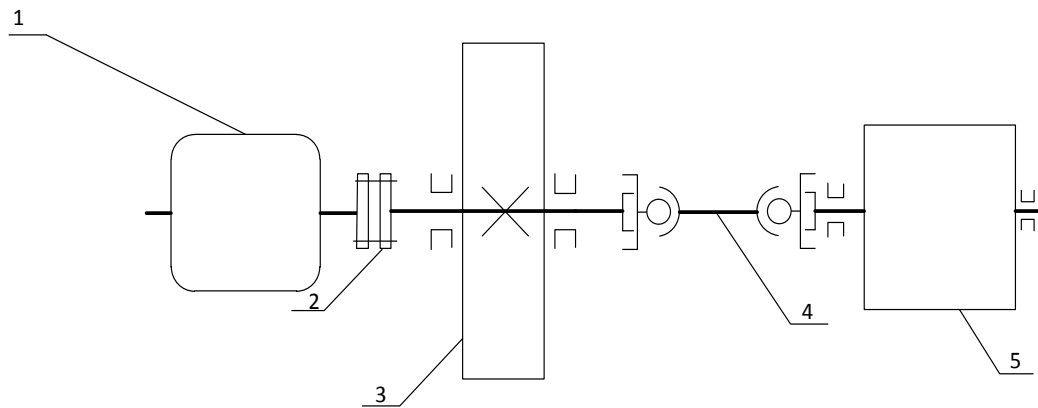
Мінімальний, мм.....300

Максимальне число обертів

універсального шпинделя, хв^{-1} 1600

Передаточне число циліндричного редуктора.....3,15

Максимальне число обертів привода, об/хв.....960



1. Двигун постійного струму

2. З'єднувальна муфта

3. Циліндричний редуктор

4. Карданний вал

5. Валок прокатний

Рис. 1.2. Кінематична схема прокатної кліті

(розроблено автором)

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Вимоги до системи автоматизації електропривода кліті

Робота стана гарячої прокатки характеризується частими включенням і, ударним навантаженням з великими значеннями струму в момент захвачування металу валками, необхідністю регулювання швидкості прокатки у широких межах і т.д. У зв'язку з цим впливають наступні вимоги до електроприводу дрібносортового стану гарячої прокатки:

- мінімальний час протікання перехідних процесів при заданих значеннях максимального динамічного струму;
- велика частота включення приводного двигуна;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- незалежність величини прискорення від швидкості, до якої розганяється електродвигун;
- висока перевантажувальна здатність приводного двигуна за струмом та моментом з урахуванням того що після захвата металу протягом певного проміжку часу двигун повинен долати одночасно динамічні зусилля і зусилля, що виникають унаслідок пластичної деформації металу. [2]

Двигуни виконані захищеними від пилу з примусовою повітряно-водяною вентиляцією.

2.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода

Розглянуто три типи двигунів. Асинхронний двигун с фазним ротором. Регулювання швидкості ступінчате, через зміну опору в колі ротора. Електропривод простий, надійний, допускає велику кількість включень на годину при середніх та великих потужностях у всіх режимах роботи.

Недоліком цього двигуна є значні втрати в пускорегулюючих опорах. Він не забезпечує необхідної жорсткості механічних характеристик. Підвищене зношення двигуна, електромеханічного гальма контактної

апаратури управління.

Асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором. Використовується для механізмів потужністю до 15 кВт у легкому режимі роботи. За потреби регулювання швидкості можливе використання двох- або трьох- швидкісних електродвигунів.

Двигуни постійного струму. Використовуються в електроприводах, до яких висуваються підвищені вимоги щодо регулювання швидкості, а також коли необхідно забезпечити низькі стійкі швидкості в різних режимах. Для механізмів підйому зазвичай використовують двигуни послідовного збудження, тому що вони допускають великі перевантаження за моментом і мають м'яку характеристику. Двигуни паралельного і незалежного збудження використовують у тих випадках, коли необхідні жорсткі механічні характеристики на низьких швидкостях, а також для роботи двигуна в генераторному режимі. До електроприводу кліті висуваються підвищені вимоги щодо регулювання швидкості, а також необхідно забезпечити стійку кутову швидкість в робочому режимі [2].

Оскільки необхідна висока плавність регулювання швидкості, а також великий діапазон регулювання, то обрано для привода кліті електродвигун постійного струму незалежного збудження з системою управління електроприводом типу тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д). [3]

2.3 Розрахунок потужності приводного двигуна

У порівнянні з аналітичними методами розрахунку потужності двигуна метод розрахунку за кривою питомої витрати енергії має перевагу, тому що в ньому відсутні коефіцієнти, які призводять до великих неточностей.

На кривій, приведеній на рис. 2.3 по осі ординат відкладений питома витрата енергії (робота витрачається на прокатку однієї тони металу), а на осі абсцис показана витяжка металу. Оскільки залежність питомої витрати енергії від подовження виражається деякою складною кривою, то для

зручності ця залежність побудована по осі абсцис у логарифмічній шкалі, що покращує масштаб кривої по цій осі і наближує її до прямолінійної.

Крива питомої витрати енергії включає також в себе енергію, витрачену на тертя, як валків, так і передаточних механізмів (редуктор, шестеренна кліть).

Оскільки початок кривої віднесений до довжини вихідної заготовки (тобто $X=1$), а зростання витрати енергії до збільшення загальної витяжки, то очевидно що витрата енергії за даний прохід металу через валки, при якому отримана витяжка збільшується, визначається по кривій як різниця двох ординат [4].

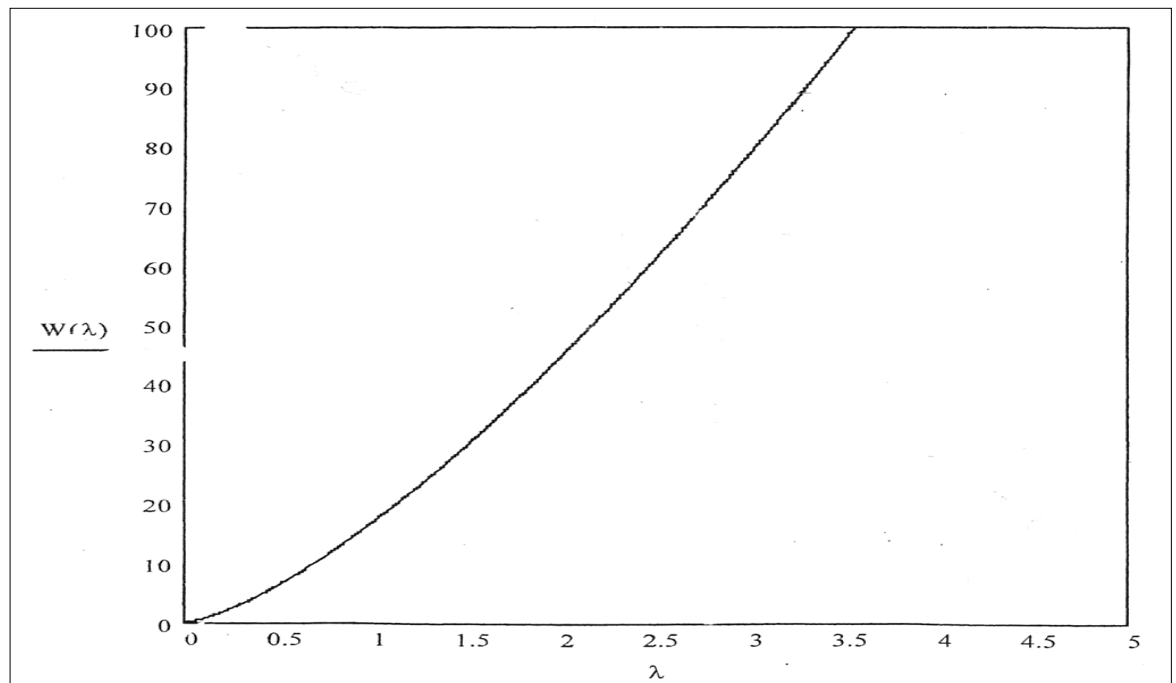


Рис. 2.1. Крива питомої витрати електроенергії при прокатці
(розроблено автором)

Повна потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{дв}} = A \cdot \frac{3600}{t} \quad (1.1)$$

A - загальна витрата енергії за прохід, кВт; $t = l/v$, де $l = 183$ - довжина заготовки після прокатки в кліті.

$V=2,37$ м/с швидкість прокатки в кліті; $t=(183/2,37)=77,21$ с

Загальна питома витрата енергії за прохід в кліті

$$A = (W_1 - W_2) \cdot m,$$

де $m=1,124$ т- маса прокочуваної заготовки;

$W_1 = 23.1$ кВт год/м- питома витрата енергії проходу (визначена за кривою питомої витрати енергії для витяжки заготовки $\lambda_3 = 1.28$);

$W_2 = 12.6$ кВт год/м- питома витрата енергії до приходу (визначена за кривою питомої витрати енергії для витяжки заготовки $\lambda_0 = 1.08$)

Відповідно

$$A = (23.1 - 12.6) \cdot 1,124 = 11,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (1.2)$$

Повна потужність двигуна

$$P_{\text{дв}} = 11,8 \cdot \frac{3600}{77,21} = 550,2 \text{ кВт} \quad (1.3)$$

Обрано двигун постійного струму незалежного збудження з такими характеристиками: [5]

Тип.....	WMMAJ 4524-480
Номінальна потужність, P_n , кВт.....	630
Номінальна напруга, U_n , В.....	600
Швидкість обертання, $n_{\min}$, об/хв.....	50
n_n , об/хв.....	500
$n_{\max}$, об/хв.....	800
Струм якоря, I_n , А.....	1140
$I_{\max}$, А.....	1834
Момент інерції, J , тм ²	0,075
Номінальна напруга збудження, $U_{z.n}$, В.....	190
Струм збудження, $I_{z.n}$, А.....	28
$I_{z.\min}$, А.....	14,3
Опір обмотки збудження, R_z , Ом.....	6,9
Індуктивність обмотки збудження, L_z , Гн.....	3,1

2.4 Вибір електрообладнання для приводу прокатної кліті

2.4.1 Тиристорний перетворювач якірного кола електродвигуна

Вибирається з умови:

$$U_{дн} \geq U_{ян}, I_{дн} \geq I_{яр} \quad (2.1)$$

де $U_{дн}$, $I_{дн}$ відповідно номінальна напруга та струм перетворювача ;

$U_{ян}$ – номінальна напруга якоря двигуна;

$I_{яр}$ – розрахунковий струм навантаження двигуна .

Прийнято $I_{яр} = I_{ян} = 1140$ А

$$U_{ян} = 600 \text{ В.}$$

Вибираємо тиристорний перетворювач якірного кола:

DT3/B6C

Номінальний струм, I_n , А	2000
Номінальна напруга, $U_{дн}$, В.....	600
Напруга кола керування, U_k , В.....	570
Маса, кг.....	250
Силовий трансформатор типу : GDGN 2500-12/2x1250/6	
Напруга живлення, $U_{л1}$, кВ.....	10
Напруга вторинної обмотки, U_2 , кВ.....	0,57
Фазний струм вторинної обмотки, $I_{2ф}$, А.....	1031
Повна потужність, S , кВА.....	2500
Напруга к. з., $U_{кз}$, %.....	7,6

У коло збудження двигуна обрано збудник на основі тиристорного перетворювача, з умов :

$$U_{дHmH} \geq U_{нв}, I_{дHmH} \geq I_{нв}, \quad (2.2)$$

де $U_{дHmH}$ – номінальна напруга тиристорного збудника ;

$U_{нв} = 170$ В – номінальна напруга збудження двигуна;

$I_{дн}$ – номінальний струм збуджувача ;

$I_{нв} = 28$ А - номінальний струм збудження двигуна.

Згладжуючий дросель за технологічними даними має наступні параметри :

$$L_H = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$I_H = 1250 \text{ А.}$$

2.5 Обґрунтування структури системи автоматичного регулювання електропривода

За принципом побудови системи стабілізації швидкості електроприводів поділяються на три основні групи: з проміжним (сумуючим) підсилювачем; з незалежним регулюванням координат; з підлеглим регулюванням координат.

У системах першої групи для регулювання координат $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ відповідних елементів електропривода $E_1, E_2, \dots, E_n$ застосовуються безперервні та затримані (з відсічками) зворотні зв'язки. Сигнали зворотних зв'язків $U_{z1}, U_{z2}, \dots, U_{zn}$ алгебраїчно додаються із задавальним сигналом U_3 на вході спільного підсилювача A . При безперервному зворотному зв'язку задавальний сигнал однозначно визначає вихідний параметр - швидкість; при зв'язку з відсічкою вихідний параметр визначається сукупністю задавального сигналу та напруги відсічки. Принципова вада таких систем полягає в тому, що незалежне налаштування окремих регуляторів неможливе - якість регулювання для різних координат досягається лише компромісним вибором параметрів.

У системах другої групи регулювання координат здійснюється паралельно: кожній координаті відповідає окремий регулятор $A_1, A_2, \dots, A_n$ із власним задавальним сигналом $U_{z1}, U_{z2}, \dots, U_{zn}$. Вибір активного регулятора у кожний момент часу забезпечує логічний перемикаючий пристрій ЛПП, який підключає до входу системи вихідний сигнал регулятора з найбільшим впливом. Через значну структурну складність такі системи практично не застосовуються.

Системи третьої групи - з підлеглим регулюванням координат - побудовані за послідовним принципом: вихідний сигнал регулятора зовнішнього контуру є задавальним сигналом для регулятора внутрішнього контуру. Таким чином, регулювання кожної координати підпорядковане регулюванню координати вищого рівня. Ключова перевага такої архітектури - можливість незалежного налаштування кожного контуру, починаючи з найнайбільш внутрішнього, без урахування зовнішніх контурів. Обмеження будь-якої координати реалізується простим обмеженням вихідного сигналу відповідного регулятора [6].

З урахуванням вимог технологічного процесу прокатки, зокрема необхідності обмеження струму якоря при динамічних навантаженнях та точного регулювання швидкості в широкому діапазоні, для електропривода кліті №12 прийнято структуру з підлеглим регулюванням координат.

2.6 Розрахунок параметрів незмінної частини об'єкта

Оскільки перетворювачі змінного струму в постійний зібрані по трифазній мостовій схемі, то інтервал повторення розрахунків обрано рівним [7]

$$T_{\text{шв}} = T/6,$$

де - T період мережі змінного струму. (2.3)

$$T_{\text{шв}} = 3,3333 \text{ мс (при частоті 50 Гц).}$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$X_{\text{тр}} = \frac{\frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot U_{2\text{ля}}}{0,815\sqrt{3} \cdot I_{\text{дЯ}}} = 1,028 \text{ Ом} \quad (2.4)$$

Кутова частота живлячої мережі

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,159 \text{ рад/с} \quad (2.5)$$

Індуктивність якоря двигуна розраховано за формулою Ліумвіля- Уманського [9]

$$L_{\text{я}} = C \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot \frac{60}{2p \cdot \pi \cdot n_{\text{н}}} = 0,1 \cdot \frac{600}{1140} \cdot \frac{60}{6 \cdot 3,14 \cdot 500} = 3,350 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (2.6)$$

де $C = 0,1$ – коефіцієнт для машин зі стабілізуючою (компенсуючою) обмоткою;

$2p$ – число пар полюсів двигуна.

Індуктивність розсіювання трансформатора

$$L_{\text{тр}} = 0,5 \cdot \frac{X_{\text{тр}}}{\omega} = 0,5 \cdot \frac{1,028}{314,159} = 1,637 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (2.7)$$

Індуктивність якірного кола

$$L_{\text{е}} = L_{\text{я}} + L_{\text{др}} + L_{\text{тр}} = 3,350 \cdot 10^{-4} + 0,520 \cdot 10^{-2} + 1,637 \cdot 10^{-3} = 5,477 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (2.8)$$

Максимальна випрямлена напруга для 3х фазної мостової схеми

$$U_{\text{д}} = U_{2\text{ля}} \cdot 1,35 = 600 \cdot 1,35 = 810 \text{ В} \quad (2.9)$$

Опір трансформатора, враховуючи розсіювання [10]

$$R_{\text{тр}} = 0,5 \cdot \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{д}}}{I_{\text{д}}} = \frac{7,6}{100} \cdot \frac{810}{1140} = 0,019 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

Опір кабелю

$$R_{\text{к}} = 0,01 \text{ Ом}$$

Активний опір трансформатора

$$R_{\text{тра}} = \frac{U_{2\text{ля}} \cdot I_{\text{дмакс}} - P_{\text{тр}}}{I_{\text{д}}^2} = \frac{600 \cdot 1834 - 2500}{1140^2} = 0,845 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

Активний опір якоря двигуна [11]

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) = 0,5 \cdot \frac{600}{1140} \cdot (1 - 0,9) = 0,026 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

Опір якірного кола

$$R_e = R_{як} + R_{тр} + R_k + R_{тра} = 0,745 + 0,01 + 0,019 + 0,026 = 0,798 \text{ Ом} \quad (2.13)$$

Електромагнітна постійна часу якірного кола

$$T_E = \frac{L_e}{R_e} = \frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{0,798} = 6,397 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (2.14)$$

Постійна часу відносно циклу розрахунків

$$Q_e = \frac{T_e}{3,333 \cdot 10^{-3}} = 1,921 \quad (2.15)$$

Номінальний момент обертання машини

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{630}{104,6} = 1,121 \cdot 10^4 \text{ Нм} \quad (2.16)$$

$$\omega_H = \frac{n_H \cdot 2\pi}{60} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 3,14}{60} = 104,6 \text{ рад/с} \quad (2.17)$$

Динамічні характеристики машини

$$C_e \Phi = \frac{U_{ня} - I_{ня} \cdot R_{я}}{\omega_H} = \frac{600 - 1140 \cdot 24}{104,6} = 10,815 \quad (2.18)$$

$$C_M \Phi = \frac{M_H}{I_{ня}} = \frac{1,121 \cdot 10^4}{1140} = 10,226 \quad (2.19)$$

Електромеханічна постійна часу [12]

$$J_{\text{сум}} = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{мех}}}{i^2} = 10,226$$

$$T_M = J_{\text{сум}} \cdot \frac{R_e}{4 \cdot 9,807 \cdot C_e \Phi \cdot C_M \Phi} = 10,226 \cdot \frac{0,798}{4 \cdot 9,807 \cdot 10,815 \cdot 10,226} = 3,59 \text{ с} \quad (2.20)$$

2.7 Розрахунок цифрової системи керування і аналіз динамічних режимів

2.7.1 Обґрунтування вибору цифрової системи регулювання

Для реалізації прийнятої багатоконтурної САК з підлеглим регулюванням обрано цифрове виконання на базі мікропроцесорного контролера. Такий вибір зумовлений специфікою роботи електропривода прокатної кліті №12: змінним характером навантаження, широким діапазоном регулювання швидкості та жорсткими вимогами до точності стабілізації.

Порівняно з аналоговими рішеннями, цифрова реалізація САК має низку суттєвих переваг стосовно конкретного об'єкта керування.

По-перше, адаптивність до змінних умов роботи. Під час прокатки динамічні параметри привода змінюються залежно від перерізу заготовки, температури металу та ступеня зношення валків. У цифровій системі параметри регуляторів можуть коригуватись програмно відповідно до обраного критерію якості без будь-якого втручання в апаратну частину. В аналоговій системі такого роду адаптація потребує перемонтажу або підстроювання елементів схеми.

По-друге, розширені можливості керування. Алгоритми цифрових регуляторів не обмежуються стандартними законами ПІ- та ПІД-регулювання - вони можуть реалізовувати складніші закони керування відповідно до математичної моделі об'єкта. Зміна структури або параметрів алгоритму відбувається заміни відповідного програмного модуля.

По-третє, можливість спостерігача стану. У разі відсутності або ненадійності окремих датчиків некеровані координати можуть бути відновлені розрахунковим шляхом на основі математичної моделі привода, реалізованої в програмі мікроконтролера. Побудова замкненої аналогової системи без фізичного датчика принципово неможлива.

По-четверте, програмна компенсація похибок вимірювання.

Систематичні похибки датчиків - нелінійність характеристик, зона нечутливості, зсув нуля - компенсуються програмно, що суттєво спрощує процедуру налагодження порівняно з аналоговими системами.

По-п'яте, розподілена архітектура. Функції керування розподіляються між кількома мікропроцесорними підсистемами, що обмінюються даними через промислову мережу. При відмові однієї підсистеми інші беруть на себе її функції, що підвищує живучість системи в цілому.

При розробці цифрової системи керування електроприводом кліті вирішено такі задачі: розроблено алгоритм цифрового керування; визначено оптимальний період квантування - інтервал повторення розрахунків Тіпо; обрано тип мікроконтролера з необхідною обчислювальною потужністю; розроблено програмне забезпечення з модулями самоконтролю та діагностики; забезпечено зв'язок із силовим перетворювачем через стандартизований інтерфейс [8].

2.7.2 Розрахунок параметрів цифрових регуляторів САК

Як розрахункову прийнято структурну типову схему системи двозонного регулювання частоти обертання з залежним керуванням потоком збудження. Ця система буде містити такі контури регулювання і відповідно регулятори: струму якоря двигуна, швидкості, струму збудження, регулятори ЕРС [13].

Для забезпечення безпечних заданих показників якості (згідно вимог що висуваються до САК) відповідні регулятори налаштовуються по такими критеріями:

- регулятор струму якоря налаштовується на модульний оптимум (ПІ-регулятор);
- регулятор швидкості налаштовується на симетричний оптимум (ПІ-регулятор), що забезпечує нульову статичну помилку [13];
- регулятор струму збудження налаштовується на модульний оптимум (ПІ-

регулятор);

- регулятор ЕРС налаштовується на модульний оптимум (ПІ-регулятор) [13].

У системі здійснюється двозонне регулювання швидкості привода. У першій зоні регулювання здійснюється завдяки зміні напруги на якорі двигуна при постійному струмі збудження, який рівний номінальному.

У другій зоні регулювання здійснюється завдяки зміні (зменшення) струму (потoku) збудження при постійній напрузі на якорі двигуна, яка дорівнює номінальній. У цьому випадку швидкість привода змінюється від номінальної до максимальної [14].

Розрахунок коефіцієнтів передачі цифрових перетворювачів

Масштаб кута керування (визначається конструкцією пристрою)

$$M_a = \frac{512}{60} = 8.533 \text{ од./ел.град.} \quad (2.21)$$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача якоря

$$K_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{дя}}}{90 \cdot M_a} = \frac{600}{90 \cdot 8,533} = 0,781 \quad (2.22)$$

Коефіцієнт передачі вузла вимірювання струму якоря

Для вимірювання струму якоря проектом передбачене використання існуючого датчика струму на базі трансформаторів струму в ланцюзі живлення тиристорного перетворювача [8], тоді:

Масштаб датчика струму при налагодженні системи встановлюється рівним

$$K_{\text{дс}} = \frac{10}{I_{\text{дмакс}}} = 5 \cdot 10^{-3} \quad (2.23)$$

Масштаб АЦП датчика струму якоря, встановлений виробником

$$M_c = 80 \text{ од/В} \quad (2.24)$$

Коефіцієнт передачі пристрою вимірювання струму якоря

$$K_{\text{дся}} = K_{\text{дся}} \cdot M_c = 0.4 \quad (2.25)$$

Коефіцієнт передачі вузла вимірювання швидкості на базі тахогенератора

Тахогенератори, встановлені на двигуні електропривода клітей однотипні й розраховані, що при 1000 об./хв. двигуна вихід тахогенератора рівний 100 В.

Звідси:

- коефіцієнт передачі тахогенератора

$$K_{\text{тг}} = \frac{U_{\text{тг}}}{1000 \cdot \frac{\pi}{30}} = 0,955 \quad (2.26)$$

- коефіцієнт дільника напруги тахогенератора

$$K_{\text{діл}} = 10$$

Масштаб АЦП датчика швидкості, встановлений виробником

$$M_{\text{ш}} = 819 \text{ од/В}$$

Коефіцієнт передачі вузла вимірювання швидкості на базі тахогенератора

$$K_{\text{дш}} = \frac{M_{\text{ш}}}{K_{\text{дел}} \cdot K_{\text{тг}}} = 85.765 \quad (2.27)$$

Коефіцієнт передачі вузла вимірювання швидкості на базі інкрементного датчика переміщення.

Метод вимірювання: швидкість визначається як середнє значення при повороті вала датчика на заданий кут, тобто

$$\omega = \frac{2\pi \cdot Z_3}{Z \cdot T_{\text{вим}}} = 104,72 \quad (2.28)$$

де Z_3 – заданий кут повороту, виражений в числі міток датчика;

Z - число міток на диску;

$T_{\text{вим}}$ - час виміру 0,002 с.

Для застосовуваного датчика переміщення типу ROG 100M похибка нанесення міток не перевищує 5%, число міток на диску $Z=2500$. Отже:

Кут повороту вала датчика за час виміру 2 мс

$$Z_3 = n_{\text{max}} \cdot Z \cdot \frac{0.002}{60} = 83,333 \quad (2.29)$$

Дискретність часу виміру повороту датчика (визначається конструкцією пристрою)

$$T_{3\text{м}} = 6,667 \cdot 10^{-7} \text{ с}$$

Похибка вимірювання швидкості

$$\delta\omega = \left(\frac{0.03}{Z_3} + \frac{T_{3\text{м}}}{0,002} \right) \cdot 100 = 0,123\% \quad (2.30)$$

Масштаб вимірювання швидкості з урахуванням ділення, де 2^{16} множник, що визначається конструкцією пристрою

$$M_{\text{вш}} = \frac{Z \cdot T_{3\text{м}} \cdot 2^{16}}{2\pi} = 17,385 \text{ од/рад/с} \quad (2.31)$$

Коефіцієнт передачі каналу вимірювання струму збудження

Коефіцієнт передачі шунта

$$K_{\text{шз}} = \frac{0,15}{30} = 5 \cdot 10^{-3} \quad (2.32)$$

Масштаб АЦП датчика струму збудження, встановлений виготовлювачем для всіх приводів

$$M_{\text{сз}} = 819 \text{ од/В}$$

Коефіцієнт передачі пристрою вимірювання струму збудження для всіх приводів

$$K_{\text{дсз}} = K_{\text{шз}} \cdot K_{\text{прив}} \cdot M_{\text{сз}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 819 = 0,012 \quad (2.33)$$

Коефіцієнт передачі каналу вимірювання ЕРС двигуна.

Для застосування ЕРС двигуна проєктом передбачене використання сигналу датчика ЕРС І242/2, встановленого для використання в аналоговій системі.

Коефіцієнт передачі датчика ЕРС І242/2

$$K_{де} = \frac{40}{U_{ня}} = 0,067 \quad (2.34)$$

Масштаб АЦП датчика ЕРС (встановлений виробником)

$$M_e = 80$$

Коефіцієнт додаткового дільника на виході датчика ЕРС

$$K_{ділe} = \frac{10}{40} = 0,25 \quad (2.35)$$

Коефіцієнт передачі пристрою вимірювання ЕРС

$$K_{де} = K_{де} \cdot M_e \cdot K_{ділe} = 1,333 \text{ од/В} \quad (2.36)$$

Коефіцієнт передачі тиристорних перетворювачів[10].

Масштаб завдання кута керування (визначений конструкцією пристрою)

$$M_{\alpha} = \frac{512 \cdot 3}{\pi} = 488,924 \text{ од/рад} \quad (2.37)$$

Максимальна напруга на виході тиристорного перетворювача для якоря [10]

$$U_{max} = 1,35 \cdot 600 = 810 \text{ В} \quad (2.38)$$

Оскільки конструкцією передбачена лінеаризація регулювальної характеристики тиристорного перетворювача для якоря, тобто коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача, що живить якір двигуна

$$K_{тп} = \frac{U_{max}}{\frac{\pi}{2} \cdot M_{\alpha}} = \frac{600}{\frac{3,14}{2} \cdot 488,924} = 1,055 \quad (2.39)$$

Дійсне значення живлення тиристорного перетворювача для живлення обмотки збудження - 380 В. Звідси максимальне випрямлена напруга на виході даного тиристорного перетворювача

$$U_{\max_3} = 0,9 \cdot 380 = 342 \text{ В} \quad (2.40)$$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача збуджувача

$$K_{\text{тп_3}} = \frac{U_{\max_3}}{\frac{\pi}{2} \cdot M_{\alpha}} = 0,445 \quad (2.41)$$

Розрахунок коефіцієнтів налаштування регуляторів.

Розрахунок коефіцієнтів налаштування регулятора струму. Структурна схема регулювання струму якоря наведено на рис. 2.1

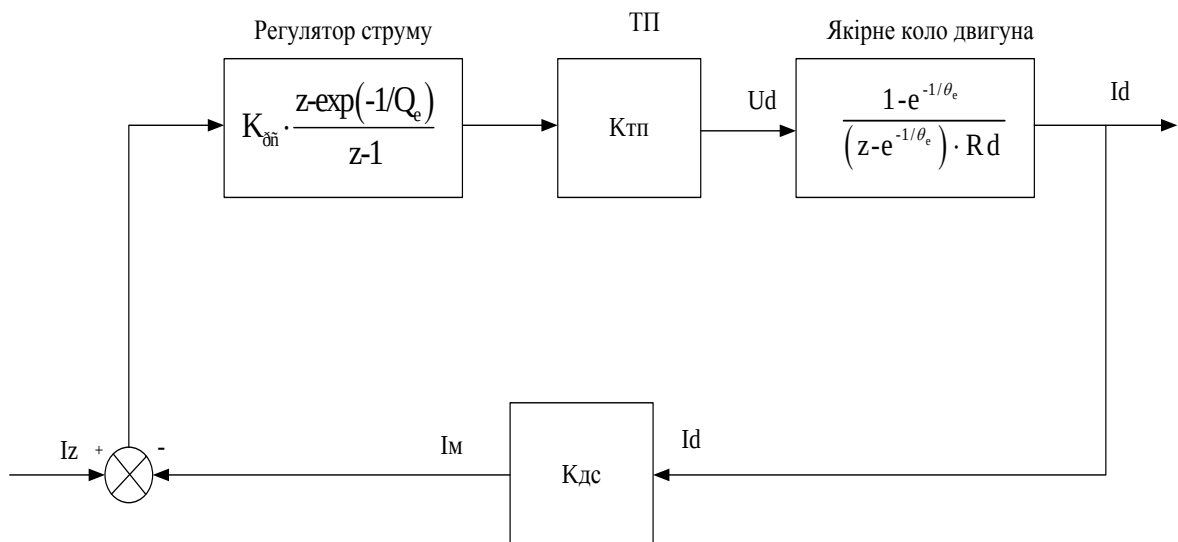


Рис. 2.1. Структурна схема регулювання струму якоря
(розроблено автором)

де $K_{\text{тп}}$ - коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача;

$K_{\text{дс}}$ - коефіцієнт передачі вузла вимірювання струму;

Q_e - постійна часу якорного кола у відносних одиницях;

R_e - опір якорного кола.

З структурної схеми можна отримати

$$K_{\text{pc}} = \frac{R_d \cdot (1 - e^{-\gamma})}{1 - e^{\frac{-1}{Q_e}}} \cdot \frac{M_{\alpha}}{K_{\text{дс}} \cdot K_{\text{тп}}} = 1,532 \cdot 10^3 \quad (2.42)$$

Оптимальне налаштування регулятора струму відповідає перехідному процесу $I_d[n]$ у вигляді експоненти з показником γ . Постійну оптимізованого контуру струму γ обрано рівною -1. Це забезпечує зміну середнього значення струму якоря при стрибку завдання струму на ΔI_z за законом $I[n] = \Delta I_z (1 - e^{-(n-1)})$; де n - номер інтервалу повторення розрахунків [8].

Струм на виході перетворювача встановиться через 10...13 мс. При цьому забезпечується висока швидкодія і хороша перешкодостійкість.

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора струму

$$K_{\text{прся}} = \frac{M_{\alpha}}{K_{\text{дся}} \cdot K_{\text{тпя}}} = \frac{488,924}{85.765 \cdot 1,055} = 1,565 \cdot 10^3 \quad (2.43)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму

$$K_{\text{іпрся}} = K_{\text{пртя}} \cdot \left(1 - e^{\frac{-1}{Q_e}} \right) = 630,329 \quad (2.44)$$

Максимальне значення кута β прийнято рівним 70 ел.град., звідки максимальне значення інтегральної суми

$$Si_{\text{max}} = \frac{M_{\alpha} \cdot \beta_{\text{max}}}{K_{\text{ит}}} = 54,297 \quad (2.45)$$

Оскільки мікро ЕОМ оперує із числами більше одиниці, то для множення коефіцієнти нормалізуються й записуються в пам'ять коефіцієнтів у вигляді двох байт, старшого й молодшого байта коефіцієнтів (молодший байт має верхній індекс М, старший байт - верхній індекс С) [13].

$$K_{\text{прся_ст}} = \text{round} \left(\frac{K_{\text{прся}}}{256} \right) = 6 \quad (2.46)$$

$$K_{\text{прся_мл}} = \text{trunc} (K_{\text{прся}} - K_{\text{прся_ст}} \cdot 256) = 28 \quad (2.47)$$

Старший і молодший байти

$$S_{\text{іпрся_мл}} = \text{round} \left(\frac{S_{\text{іпрся}}}{256} \right) = 0 \quad (2.48)$$

$$S_{\text{ірся_мл}} = \text{trunc}(S_{\text{ірся}} - S_{\text{ірся_ст}} \cdot 256) = 54 \quad (2.49)$$

Коефіцієнт виправлення на запізнювання в контурі струму якоря

$$K_{\text{зап}} = e^{-1}$$

Розрахунки коефіцієнтів налаштування регулятора швидкості.

Для підвищення точності роботи системи прийнято регулятор швидкості пропорційно-інтегральним. Параметри регулятора вибираються з умови: при стрибку завдання перерегулювання по швидкості не більш 10% [8]. У цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості має вигляд, наведений на рис. 2.2 .

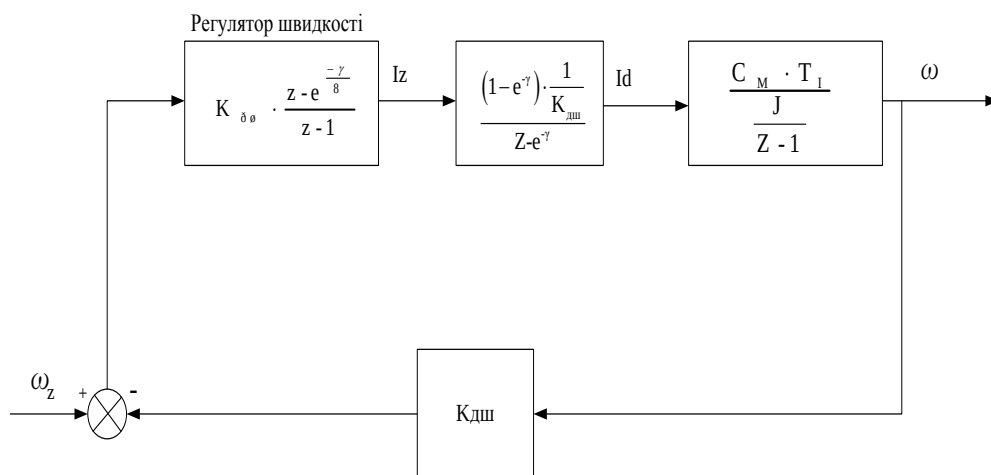


Рис. 2.2. Структурна схема регулювання швидкості
(розроблено автором)

На рис. $K_{\text{рш}}$ - коефіцієнт пропорційної частини регулятора швидкості.

$$K_{\text{рш}} = \frac{J}{C_M \cdot T_l \cdot K_{\text{дс}}} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\gamma}{2}}}{1 - e^{-\gamma}} = 4,019 \cdot 10^3 \quad (2.50)$$

де γ - коефіцієнт визначаючий швидкодію контуру струму;

J - сумарний момент інерції рухомих частин;

C_M - коефіцієнт, зв'язуючий момент і струм двигуна;

T_l - час інтервала повторення розрахунків рівний $T_l = 0.00333$ с.

Враховуючи, що $\gamma = 1$, коефіцієнт інтегральної частини

$$K_{\text{ш}} = K_{\text{рш}} \cdot \left(1 - e^{\frac{\gamma}{8}}\right) = 535.12 \quad (2.52)$$

Для реалізації в ЕОМ пристрою коефіцієнти записуються у вигляді двох байт

$$K_{\text{рш_ст}} = \text{round}\left(\frac{K_{\text{рш}}}{256}\right) = 16 \quad (2.53)$$

$$K_{\text{рш_мл}} = \text{trunc}\left(K_{\text{рш}} - K_{\text{рш_ст}} \cdot 256\right) = 77 \quad (2.54)$$

$$K_{\text{іс_ст}} = \text{round}\left(\frac{K_{\text{іс}}}{256}\right) = 2 \quad (2.55)$$

$$K_{\text{іс_мл}} = \text{trunc}\left(K_{\text{іс}} - K_{\text{іс_ст}} \cdot 256\right) = 23 \quad (2.56)$$

Обмеження інтегральної суми регулятора швидкості визначається за виразом

$$S_{\text{max}} = \frac{Id_{\text{max}} \cdot M_c}{K_{\text{дс}}} = 298,988 \quad (2.57)$$

де Id_{max} - гранично-припустимий струм якоря двигуна;

$K_{\text{дс}}$ - коефіцієнт передачі вузла вимірювання струму;

Для реалізації в ЕОМ пристрої S_{max} записується у вигляді двох коефіцієнтів

$$S_{\text{max_ст}} = \text{round}\left(\frac{S_{\text{max}}}{256}\right) = 1 \quad (2.58)$$

$$S_{\text{max_мл}} = \text{trunc}\left(S_{\text{max}} - S_{\text{max_ст}} \cdot 256\right) = 42 \quad (2.59)$$

Розрахунки коефіцієнтів налаштування регулятора струму збудження
Структурна схема регулювання струму збудження наведена на рис. 2.3 .

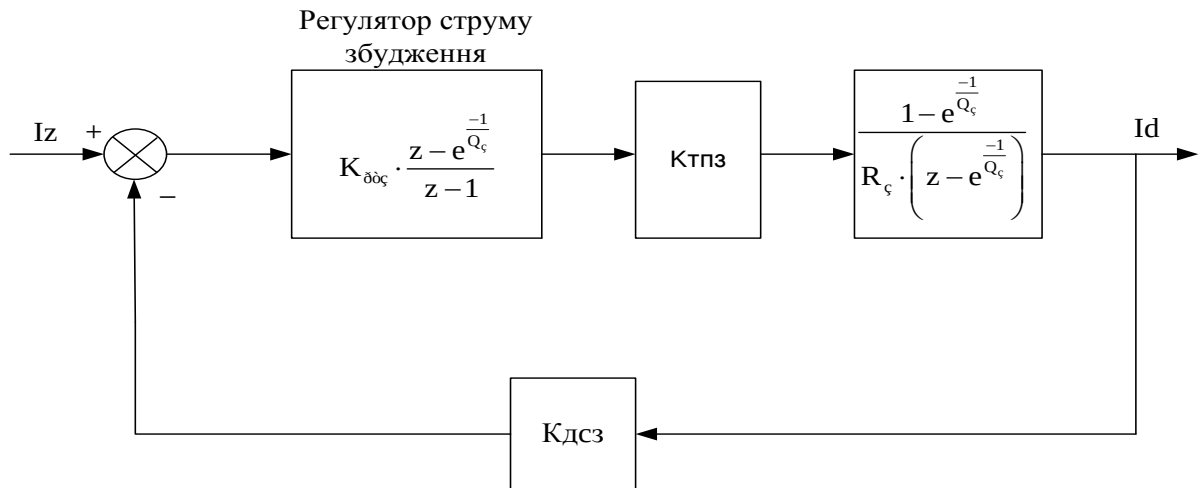


Рис. 2.3. Структурна схема регулювання струму збудження
(розроблено автором)

де $K_{ртз}$ - коефіцієнт пропорційної частини регулятора струму збудження;

$K_{тпз}$ - коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача, що живить обмотку збудження;

Q_e - постійна часу обмотки збудження у відносних одиницях,

$$Q_3 = \frac{T_3}{T_{іпз}} = 0,366 \quad (2.60)$$

T_3 - постійна часу обмотки збудження,

$$T_3 = \frac{L_3}{R_3} = 3,048 \text{ с}; \quad (2.61)$$

$T_{іпо}$ - час інтервалу повторення обчислень;

$K_{дсз}$ - коефіцієнт передачі вузла вимірювання й перетворення в цифрову форму струму збудження;

R_3 - опір обмотки збудження.

Величина коефіцієнта передачі пропорційної частини регулятора струму збудження

$$K_{рсз} = \frac{R_3 \cdot (1 - e^{-\gamma})}{\left(1 - e^{\frac{-1}{Q_3}}\right)^{17} \cdot K_{дсз} \cdot K_{тпз}} = 3,594 \cdot 10^3 \quad (2.62)$$

Величину γ в у цьому випадку доцільно вибирати з урахуванням величини максимальної напруги на виході тиристорного перетворювача

$$\gamma \leq \frac{U_{3\max} \cdot I_{3н}}{L_3 \cdot I_{3\max}} \approx 9,189 \quad (2.63)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора струму збудження

$$K_{итз} = K_{птз} \cdot \left(1 - e^{\frac{-1}{Q_3}} \right) = 3,361 \cdot 10^3 \quad (2.64)$$

Для реалізації в ЕОМ коефіцієнти записуються у вигляді двох байт старший і молодший

$$K_{псз_ст} = \text{round}\left(\frac{K_{псз}}{256}\right) = 14 \quad (2.65)$$

$$K_{псз_мл} = \text{trunc}(K_{псз} - K_{псз_ст} \cdot 256) = 10 \quad (2.66)$$

$$K_{ісз_ст} = \text{round}\left(\frac{K_{ісз}}{256}\right) = 13 \quad (2.67)$$

$$K_{ісз_мл} = \text{trunc}(K_{ісз} - K_{ісз_ст} \cdot 256) = 32 \quad (2.68)$$

Максимальне значення кута $\beta_{\max}$ для тиристорного збуджувача приймаємо рівним 85 ел.град. чи 1,483 рад.тоді обмеження інтегральної суми дорівнює

$$Si_{\beta_{\max}} = \frac{M_{\alpha} \cdot \beta_{\max}}{K_{ісз}} = 12.366 \quad (2.69)$$

Старший і молодший байти коефіцієнтів для завдання обмеження інтегральної суми

$$Si_{\beta_{\max_ст}} = \text{round}\left(\frac{Si_{\beta_{\max}}}{256}\right) = 0 \quad (2.70)$$

$$Si_{\beta_{\max_мл}} = \text{trunc}(Si_{\beta_{\max}} - Si_{\beta_{\max_ст}} \cdot 256) = 12 \quad (2.71)$$

Розрахунки коефіцієнтів налаштування регулятора ЕРС

Структурна схема регулювання ЕРС наведена на рис. 2.4 .

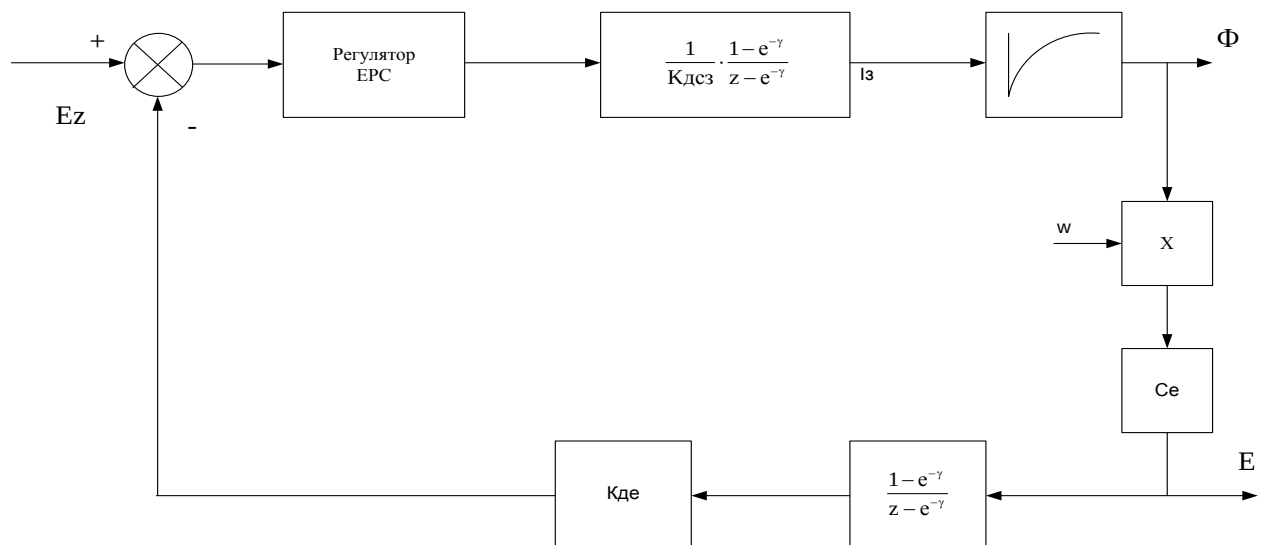


Рис. 2.4. Структурна схема регулювання ЕРС

(розроблено автором)

Оскільки швидкість стабілізується регулятором швидкості, причому регулювання здійснюється через зміну напруги на двигуні, то з достатньою для практики точністю можна вважати, що в процесі регулювання ЕРС швидкість двигуна постійна.

Регулятор ЕРС прийнятий пропорційно-інтегральним, його розрахунок виконаний для зони роботи з максимальними швидкостями привода [12]. Для зазначених спрощень передавальна функція регулятора ЕРС має вигляд

$$W_{pe}(z) = K_{pe} \cdot \frac{z - e^{-\gamma}}{z - 1} \quad (2.72)$$

де K_{pe} - коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора ЕРС;

γ - параметр настроювання швидкодії контуру регулювання ЕРС

Величина коефіцієнта пропорційної частини визначена зі співвідношення

$$\frac{K_{pe} \cdot (1 - e^{-x}) \cdot K_{\phi} \cdot w_0 \cdot K_{де}}{K_{дтз}} = \frac{1 - e^{-\gamma}}{4} \quad (2.73)$$

При якому забезпечується перехідний процес з перерегулюванням не більше 5%. Звідси

$$K_{pe} = \frac{K_{дсз} \cdot (1 - e^{-\gamma})}{4 \cdot (1 - e^{-x}) \cdot K_{\phi} \cdot w_0 \cdot K_{де}} = 2,873 \cdot 10^{-4} \quad (2.74)$$

Постійну фільтра на вході датчика ЕРС прийнято рівною $T_{\phi} = 20$ мс щоб зменшити пульсацію ЕРС. У відносних одиницях

$$x = \frac{T_{вп}}{T_{\phi}} = \frac{3,333}{20} = \frac{1}{6} \quad (2.75)$$

$$K_{\phi} = 0,482$$

Звичайно $K_{pe} \leq 1$. Тому коефіцієнт підсилення інтегральної частини навіть при зменшенні 256 значно менше 1, для його реалізації коефіцієнт який його задає збільшується в 256 раз. Тому

$$K_{ie} = K_{pe} \cdot (1 - e^{-x}) \cdot 256 = 0,011 \quad (2.76)$$

Обмеження інтегральної суми регулятора ЕРС

$$S_{emax} = \frac{I_{зmax} \cdot K_{дсз}}{K_{ie}} = 14,723 \quad (2.77)$$

K_{ie} і K_{pe} записуються тільки в молодші байти. Коефіцієнти, які задають S_{emax} дорівнюють

$$S_{emax_ст} = \text{round}\left(\frac{S_{emax}}{256}\right) = 0 \quad (2.78)$$

$$S_{emax_мл} = \text{trunc}(S_{emax} - S_{emax_ст} \cdot 256) = 14 \quad (2.79)$$

2.7.3 Системи керування, регулювання, захисту та сигналізації кліті №12

Система регулювання (за винятком регулятора струму збудження, який є аналоговим), задатчик інтенсивності, система управління, захисту та сигналізації електроприводом, система СІФУ якорного тиристорного

перетворювача виконана на гнучко програмуючій, мультимікропроцесорній системі SIMADYN-D.

Дані системи виконані на базі вільно програмованого мікропроцесорного пристрою, розташованого в інформаційній шафі (шафи керування) SI. До складу пристрою входять дві таких системи: A01-3 типу PT20G і A01-1 типу PT20M. Конструктивно вони займають 6 посадочних місць в касеті SR7 на передній монтажній панелі шафи.

Мікропроцесорна система A01-3 реалізує наступні функції:

- регулювання струму і швидкості приводу;
- формування імпульсів управління тиристорами;
- контроль і захист тиристорного перетворювача;
- зв'язок з програматором, використаним для налагодження;

Мікропроцесорна система A01-1 реалізує наступні функції:

- попередня обробка завдання швидкості, що надходить зі шафи цифрового завдання SQ20, а також дуплексний зв'язок з системою автоматизації вищого рівня (прийом командоуправління, передача необхідних параметрів приводу, передача аварійних та попереджувальних сигналів) за допомогою послідовного інтерфейсу DUST6;

- контроль, управління і захист електроприводу;
- формування завдання струму збудження і регулювання EPC;
- зв'язок з терміналом A03 (OP1), встановленим на дверях шафи SI і призначений для індикації несправностей тиристорного електроприводу, а також для вводу необхідних параметрів і команд управління.

2.8 Моделювання системи автоматичного регулювання електроприводом

Застосовано метод дослідження - імітаційне моделювання на ПЕОМ. Метою дослідження є підтвердження ефективності прийнятих раніше рішень за функціональною структурою системи керування, перевірка працездатності

запропонованих алгоритмів і оцінка ефективності у цілому.

Схема моделі системи автоматичного керування електроприводом прокатної кліті розроблена на основі структурної схеми системи автоматичного керування із двозонним регулюванням швидкості. Параметри моделі розраховані раніше при синтезі регуляторів системи.

За допомогою моделі електропривода виконані дослідження в різних режимах роботи:

- пуск без навантаження;
- пуск з навантаженням;
- пуск вхолосту з накиданням навантаження.

У моделі контролювалися параметри електропривода:

- швидкість обертання;
- струм якоря приводного електродвигуна;
- електромагнітний момент приводного електродвигуна.

Аналіз результатів моделювання показав, що розроблена система автоматичного керування електроприводом прокатної кліті № 12 повною мірою є працездатною й задовольняє заданим вимогам.

2.9 Електропостачання

2.9.1 Розрахунок електричних навантажень проміжної кліті

Визначення електричного навантаження відбувається методом підпорядкованих діаграм [15].

Розрахункове максимальне навантаження електроспоживачів визначається за формулою [11]:

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot K_i \cdot P_{\text{ном.}} \quad (2.80)$$

За даними підприємства $P_{\text{ном}}=630\text{кВт}$ - сумарна потужність електроспоживачів.

Визначено середньозважений коефіцієнт використання

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n P_{CPi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{576}{630} = 0,85 \quad (2.81)$$

де n - число приймачів з різними режимами роботи, що входять у дану групу приймачів. За даними підприємства $n=1$;

P_{CPi} - середня потужність підгрупи за найбільш завантажену зміну, за даними підприємства $P_{CP} = 576 \text{ кВт}$

P_{Hi} - номінальна потужність підгрупи приймачів, за даними підприємства $P_H = 630 \text{ кВт}$.

Виходячи з K_B і n , визначаємо коефіцієнт максимуму K_{max} :

$$K_{max} = 1,5.$$

Розрахункова максимальна потужність

$$P_{max} = 1,5 \cdot 0,85 \cdot 630 = 817 \text{ кВт} \quad (2.82)$$

Відповідно до практики проектування [16]

$$Q_{max} = 1,1 Q_{CM} = \sum P_H \cdot K_H \cdot \text{tg} \varphi \text{ при } n \leq 10 \text{ тоді} \quad (2.83)$$

$$Q_{max} = 680 \cdot 0,85 \cdot 0,75 = 434 \text{ квар.}$$

Повна потужність

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2} = \sqrt{817^2 + 434^2} = 920 \text{ кВА} \quad (2.84)$$

Максимальний струм I_{max}

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U} = \frac{81700}{600} = 1145 \text{ А} \quad (2.85)$$

2.9.2 Вибір силових живильних кабелів

Прийнято кабель типу ААШВ-3 (3х185) на напругу $U_H = 10 \text{ кВ}$, $s = 185 \text{ мм}^2$ і допустимим струмом $I_{доп} = 500 \text{ А}$ [11].

Для живлення двигуна чорновий кліті обрано кабель по номінальному струмі двигуна типу ААШВ6-5 (3х150) на напругу $U_H = 0,6 \text{ кВ}$, $S = 150 \text{ мм}^2$ і допустимим струмом $I_{доп} = 1500 \text{ А}$.

2.9.3 Вибір силової комутаційної апаратури

Між шинами розподільчого пристрою і трансформатором встановлено масляний вимикач ВМП-10:

номінальна напруга 10кВ.

номінальний струм 600А.

Вибір вимикача біля двигуна робимо за максимальною напругою і номінальному струму, а потім перевіряємо здатність, що відключає. Розраховано з обліком періодичної складової струму к.з I_n . Розрахунковий максимальний $I_{PAC} = 1145$ А. Короткочасний струм при пуску:

$$I_{KP} = I_{ПУСК} = 2 \cdot 1230 = 2460 \text{ А} . \quad (2.86)$$

де $I_{ПУСК}$ - пусковий струм ,

$$I_{ПУСК} = 2 \cdot I_{Н. ДВ} = 2 \cdot 1230 = 2460 \text{ А} . \quad (2.87)$$

По розрахунковому струму $I_{РОЗ} = 1445$ А обрано вимикач серії АВМ-15

$$I_{ЗАХ} = 1500 \text{ А} > I_{РОБ} = 1145 \text{ А}$$

струм прямого спрацьовування, $I_{пр.сп.}$, А.....	2340
струм зворотного спрацьовування, $I_{зв.сп.}$, А.....	625-1560
час відключення, с.....	0,1
граничний струм термічної стійкості/прип. час його дії.....	20/4

2.9.4 Захист електропривода

Захист вентильного випрямляча , а також якірної обмотки двигуна здійснюється швидкодіючим автоматичним вимикачем типу АЗ796-НУЗ. Аварійне відключення вимикача відбувається по команді із системи керування електроприводом. На напівпровідниковому розчеплювачі є:

- зона регулювання струму при перевантаженні з уставкою струму пуску й регулюванням часу спрацьовування 4, 8, 16с;
- зона регулювання при к.з. з установкою струму пуску $(2-10)I_n$ та регулюванням часу спрацьовування 0,1, 0,25, 0,4с.

Наявність і рівень напруги живильної мережі контролюється за допомогою трифазного реле. При зникненні фази чи при зниженні на 40% напруги однієї з фаз реле подає команду на відключення автоматичного вимикача.

Двигун захищений від замикання на землю, пробивним запобіжником, на номінальну напругу 1000В.

Тиристорний перетворювач захищений плавкими запобіжниками типу ПП18-41 з номінальним струмом вставки 1000А [10].

Особливістю тиристорів є їхня висока чутливість до перевантажень за струмом і напругою, тому захисту тиристорів від перевантажень необхідно приділяти істотну увагу. Зазвичай для захисту вентилів від комутаційних перенапруг застосовують ланцюжка R-C [15].

2.9.5 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів к.з робимо у відносних одиницях. За базисне значення потужності прийнято $S_{[15]_6}=100$ МВА. за базисну напругу $U_6=10,5$ кв. Визначено базисні відносні опори :

- трансформатора

$$X_1 = \frac{X \cdot S_B}{S_H} = \frac{0,076 \cdot 100}{16} = 0,475 \quad (2.88)$$

-двигуна:

$$X_2 = 0,2 \frac{S_B}{S_{НОМ}} = 0,2 \frac{100}{630} = 0,029 \quad (2.89)$$

- лінії:

$$X_3 = 0,08 \frac{S_{НОМ}}{U_{НОМ}^2} = 0,08 \frac{100}{100} = 0,08 \quad (2.90)$$

Базисний струм визначено за формулою

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10,5} = 5,6 \text{ кА} \quad (2.91)$$

Струм і потужність к.з. для точки К1:

$$I_{K1} = I_B / x_{\Sigma} = 5,6 / 0,555 = 10 \text{ кА}, \quad (2.92)$$

де $x_{\Sigma 1} = X_3 + X_1 = 0,08 + 0,475 = 0,555$ сумарний опір системи до точки К1.

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 25,5 \text{ кА} \quad (2.93)$$

$$S_{K1} = \frac{S_B}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{0,555} = 180 \text{ МВА} \quad (2.94)$$

Струм і потужність к.з. для крапки К2:

$$\text{де} \quad x_{\Sigma 2} = X_1 + X_2 + X_3 = 0,475 + 0,29 + 0,08 = 0,584 \quad (2.95)$$

$$I_{K2} = I_B / x_{\Sigma 2} = 5,6 / 0,584 = 9,6 \text{ кА} \quad (2.96)$$

$$i_{y2} = k_{y2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,6 = 24,4 \text{ кА} \quad (2.97)$$

$$S_{K2} = \frac{S_B}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{0,548} = 182,5 \quad (2.98)$$

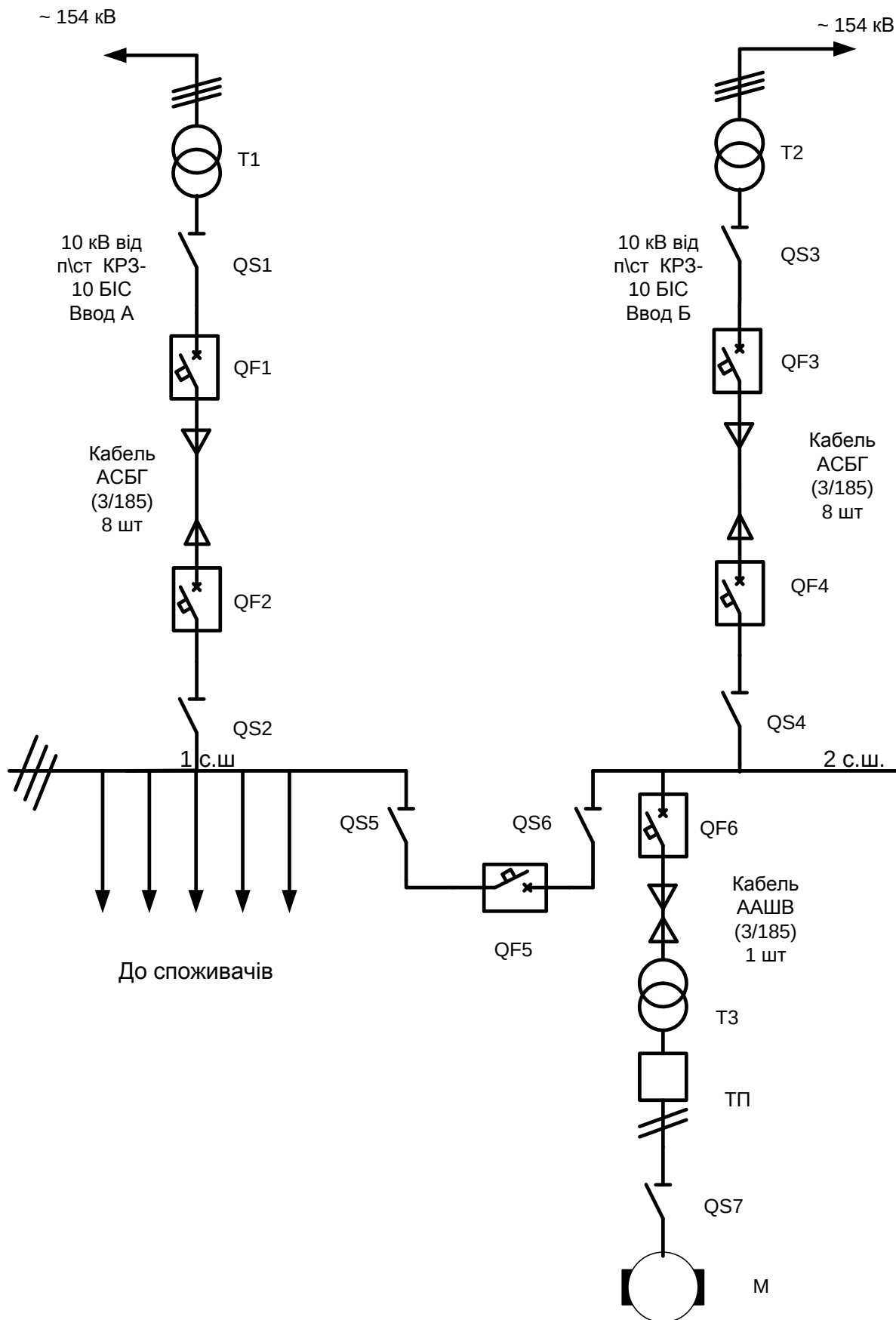


Рис. 2.5. Однолінійна схема електропостачання кліті
(розроблено автором)

2.10 Охорона праці

Підрозділ охорони праці спрямований на забезпечення безпечних умов праці операторів і електромонтерів на ДС-150-1 (СПЦ-1) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Охорона праці на підприємствах регулюється системою нормативно-правових актів, що ґрунтуються на Конституції України. Державна політика в області охорони праці, закріплена статтею 4 закону України «Про охорону праці», базується на пріоритеті життя й здоров'я працівників в умовах виробничої діяльності, повній відповідальності власника для створення безпечних і нешкідливих умов праці.

Відповідно до [17] реалізується конституційне право громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Дія Закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Ця кваліфікаційна робота передбачає модернізацію прокатної проміжної кліті №12 ДС-150-1 СПЦ-1, тому у пункті «Охорона праці» розглянуті основні шкідливі й небезпечні чинники, що діють в умовах цеху, запропоновані заходи щодо зниження рівня шкідливих і небезпечних чинників, виконаний розрахунок заземлюючого пристрою для електроустаткування кліті, та розглянуті узагальнені питання пожежної безпеки.

2.10.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників

У зв'язку з тим, що темою кваліфікаційної роботи є модернізація електроприводу кліті, в умовах ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що не веде до зміни класу шкідливості виробництва, тому вибір будівельного майданчика не виконується.

2.10.2 Заходи з усунення шкідливих чинників

Прокатний стан ДС-150-1 містить рухоме механічне обладнання - прокатні валки, шпинделі, редуктор, муфти, рольганги - що є потенційним джерелом механічних травм. Ненавмисний контакт персоналу з обертовими деталями може спричинити порізи, удари та захват одягу. Розроблений електропривод кліті №12 безпосередньо пов'язаний з обертанням прокатних валків, тому при виконанні технічного обслуговування необхідно дотримуватись вимог безпеки щодо огорожень та блокувань [18]. Місця можливих травмувань персоналу – це прокатні валки, тягнучі, подавальні та напрямні ролики, зубчасті та ланцюгові передачі, ножиці і пили, рольганги, транспортери й конвеєри і т. ін. Частина й вузли прокатних машин (валки, маховики, з'єднувальні шпинделі, зубчасті колеса, різноманітні муфти, втулки, кулачки, ексцентрики) здійснюють обертові рухи. Інші частини і вузли (важелі, елементи транспортерів, штовхачів, маніпуляторів та кантувачів) виконують зворотно-поступальні рухи [19].

Рівень небезпеки механічного впливу визначається конструктивними особливостями машин та швидкістю робочих органів. Під час прокатки валки обертаються назустріч один одному і створюють умови для захвату елементів одягу або кінцівок; швидкість прокатки на стані досягає 100 м/с, що унеможлиблює реакцію оператора без захисних огорожень. Розкат, заготовки та готова продукція, переміщуючись по рольгангах, є додатковим фактором травмонебезпечності. Захисні огороження та блокувальні

пристрої, передбачені конструкцією стана, мінімізують ризик нещасних випадків [18].

Дія шуму призводить до комплексу порушень в діяльності організму людини, який отримав назву «шумова хвороба».

Джерела механічного шуму в прокатних цехах різноманітні. Це зубчасті передачі, підшипники, кривошипні механізми, ланцюгові передачі, а також процеси транспортування металу по рольгангах, його деформація, різання і т. ін. Причиною механічного шуму є вібрації поверхонь машин та обладнання. Поширеними джерелами аеродинамічних шумів у СПЦ-1 є засоби вентиляції: обладнання для забору і розподілу повітря, а також газові струмені.

Вплив інфразвуку середніх рівнів (70–120дБ), які найчастіше мають місце у виробничих умовах, ще вивчений недостатньо, однак є вказівки на те, що він викликає втому, психологічний дискомфорт, слабкість, сонливість, втрату уваги. Особливо це помітно при виконанні розумової праці і відносно невеликому рівні чутності шуму.

У прокатних цехах основними джерелами інфразвуку є нагрівальні колодязі, методичні печі, системи вентиляції, газоочищення, поршневі компресори.

У прокатному виробництві ультразвукові (УЗ) коливання застосовують з технологічною та дослідницькою метою: очищення поверхні листової сталі від забруднень, зварювання тонколистових матеріалів, дефектоскопії прокатних виробів, визначення напружень у деталях прокатного обладнання і у прокатному металі та ін. Джерелами УЗ-коливань є генератори ультразвуку, УЗ-дефектоскопи, обладнання, в якому генерується ультразвук як побічне явище, наприклад, при зіткненні розрізуваного металу з диском пили, розділовими дисками на барабані, при розпуску широких штабів на вузькі та ін. УЗ-коливання є носієм звукової енергії великої густини та здійснює на організм тепловий, механічний і кавітаційний вплив. Енергія УЗ-коливань

поглинається тканинами організму і переходить у теплову енергію, викликаючи небезпечне підвищення температури тіла людини.

У прокатних цехах при роботі основного і допоміжного обладнання виникає вібрація, яка у зв'язку зі збільшенням швидкості обробки металу зростає. Так, швидкість прокатки сталі на безперервних станах гарячої прокатки сягає 30 м/с, на станах холодної прокатки - 40 м/с, на дротових станах - 70-80 м/с. Амплітуда вібрації зростає, а динамічний дисбаланс зношених деталей посилює її. Тривалий вплив загальної вібрації рівнем 140 Гц спричиняє порушення функцій нервової системи та опорно-рухового апарату [20]. Конкретні значення вібрації, зафіксовані на робочих місцях стана ДС-150-1, наведено у табл. 2.1. Джерела вібрації впливами призводить до вібрації. Вона може бути загальною (для всього тіла людини) та місцевою (для рук, ніг). На організм людини вібрація впливає негативно: відбувається порушення центральної нервової системи, захворювання судин та суглобів, головний біль, запаморочення, оніміння кінцівок та ін.

Додатковими джерелами вібрації є ручний пневматичний та електричний інструмент (зубила, шліфувальні машини), що застосовується при зачищенні поверхневих дефектів заготовок і готової продукції. Місцева вібрація передається через руки оператора та може спричинити вібраційну хворобу. готових матеріалів).

Основні параметри вібрації - амплітуда вібропереміщення, амплітуда коливальної швидкості, амплітуда коливального прискорення. Період коливань, частота коливань.

Тиристорний перетворювач (ТП), що входить до складу модернізованого електропривода кліті, є джерелом вищих гармонік струму та електромагнітних завад. Електромагнітні поля у зоні силового шафа ТП та трансформатора можуть впливати на персонал, що проводить технічне обслуговування. Нормовані значення напруженості електричного та магнітного полів мають дотримуватись відповідно до [21]. На стані також використовуються установки індукційного підігріву валків, що є джерелом

ЕМП. Їх валків, сушіння покриттів, нанесених на поверхню прокатних виробів, нагрівання вихідних матеріалів для теплої прокатки і т. ін. Електромагнітні поля створюють нагрівання у всьому об'ємі матеріалу за рахунок його електричних втрат, температура оточуючого простору залишається практично незмінною.

Захист від ЕМП забезпечується екрануванням силових шин і кабелів, обмеженням часу перебування персоналу у зоні підвищеного рівня поля та застосуванням захисних екранів. Наведена напруга від ЕМП може виникати на дротах, елементах низьковольтних кіл і кабелів зв'язку, якщо вони розташовані у зоні дії сильного поля і не заземлені, що збільшує ризик ураження електричним струмом через дотик до них [21].

Припустимі значення напруженості електричних і магнітних полів встановлені [21]. Електричні поля промислової частоти напругою 400 кВ і вище. Загальні вимоги безпеки [21]. Електромагнітні поля радіочастот. Загальні вимоги безпеки. Згідно з [21] опромінення електричним полем регламентується як за величиною напруженості, так і за тривалістю опромінення.

У діапазоні частот 60 кГц – 300 МГц нормуємими параметрами є напруженості E і H електромагнітного поля (від 50 В/м при частоті 0,06 – 3 МГц до 5 В/м при частоті 50-300 МГц; від 5 А/м при частоті 0,06 МГц до 0,3 А/м при частоті 30-50 МГц).

У повітрі машинного залу при гарячій прокатці утворюється окалина, дрібні частки якої завислі у вигляді пилу. При прокатці сталей з легуючими добавками у повітрі можуть бути присутні оксиди відповідних елементів. Рівень запиленості контролюється відповідно до [22]. Хімічний склад пилу залежить від марки сталі, що прокатується. При прокатці у повітрі прокатного відділення створюється запорошеність повітря у зв'язку із зламом окалини та її дробленням. У районі нагрівальних пристроїв виникає загазованість, обумовлена використанням газового палива і розповсюдженням газів у навколопічному просторі. При гарячій прокатці

сортової сталі, що містить різні легуючі добавки (Pb, W, Mo, Cr і т. д.), у повітрі можуть міститися возгони оксидів цих легуючих елементів [23].

[22] встановлює вимоги гранично допустимої концентрації речовини (ГДК), а також визначає клас небезпеки речовини і можливий агрегатний стан її (пароподібний або у вигляді аерозоля). Речовини, вживані в прокатному виробництві, належать в основному до класів небезпеки 2 і 3.

Основними джерелами теплових виділень у машинному залі ДС-150-1 є нагрівальна піч, розкат металу та приводні двигуни. Температура на робочих місцях у літній період може досягати 32–34°C, що перевищує допустимі значення. Запроваджені технічні заходи – повітряне душення та охолодження зон відпочинку – знижують теплове навантаження на персонал [24]. Джерела теплових виділень охоплюють метал, нагрівальне обладнання, приводи, допоміжне устаткування, обробні агрегаування. Значна кількість теплоти виділяється при охолодженні готової продукції та транспортуванні матеріалів по рольгангах і конвеєрах цеху. На холодильниках і т.д., при транспортуванні металу на склади готової продукції.

У табл. 2.1 - наведені гранично допустимі норми шкідливих чинників професії «Електромонтер з ремонту і обслуговуванню електрообладнання (машзалів).

Аналіз даних табл. 2.1 свідчить, що фактичні значення шкідливих чинників частково перевищують нормативні. Першочергово вимагають уваги рівень шуму (87 дБ проти норми 80 дБ) та температура повітря в робочій зоні. Подальший текст підрозділу деталізує заходи з усунення вимих норм, концентрацій та рівнів. Шум в робочій зоні перевищує допустиму норму. Пил фіброгенної дії практично в нормі. Швидкість руху повітря в нормі. Температура значно підвищена.

Таблиця 2.1

Шкідливі чинники на робочому місці електромонтера стана ДС-150-1

№ П/п	Шкідливі чинники	Од. вим.	ГДК ГДР	Факт.
1.	Пил фібро генної дії	Мг/м ³	6,0	2,1
2.	Шум	дБ	80	87
3.	Вибрація	Гц	120-130	140
4.	Мікроклімат в приміщенні:			
-	температура повітря	°С	18-27	32-28
-	швидкість руху повітря	м/сек	0,4-0,2	0,3
-	відносна вологість	%	40-60	46
-	тепловипромінювання	°С	30-40	50-60

2.10.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди шкідливих і небезпечних чинників

Для безпечної експлуатації механізмів і підйомно-транспортних пристроїв використовуються огороження і спеціальні проходи, а також захисні пристосування й блокування, та ін.

При прийомі на роботу персонала, який буде пов'язаний з експлуатацією обладнання, що генерує інфразвук і шум, проводять попередній медичний огляд, а в подальшому – періодичні огляди раз на рік. Перший огляд проводять через місяць після початку роботи [23].

Для зниження шумового навантаження на персонал застосовано: звукоізолювальне облицювання пульта керування, дистанційне управління обладнанням із закритої кабіни, а також організаційний захід – скорочення часу перебування в зоні підвищеного шуму [24]. Вимушене перебування в зоні шуму понад 80 дБА можливе лише у ЗІЗ.

Для зниження рівня інфразвуку аеродинамічного походження застосовуються реактивні глушники різних конструкцій.

Згідно з медичними рекомендаціями для тих, хто працює з обладнанням, що генерує інфразвук, важливе значення має правильний режим праці та відпочинку. Передбачється введення 20-хвилинної перерви в ізолюваному приміщенні через кожні 2 години роботи. Рекомендують також скорочення робочого дня залежно від рівнів інтенсивності інфразвуку, яким піддаються робітники.

Технічні заходи захисту. Найважливішим заходом є зменшення інфразвуку у джерелі його виникнення. Якщо джерело інфразвуку механічне, то застосовуються наступні методи: 1) усунення дисбалансу великих обертових частин машин; 2) зміна частоти обертання машини, якщо вона співпадає з однією з власних частот будівельних конструкцій; 3) зменшення інтенсивності випромінювання конструкції, використання дифракційних явищ. З цією метою, наприклад, рекомендується застосування перфорованих підлог для установки віброактивних агрегатів.

При розробці заходів з віброізоляції слід добиватися, щоб амплітуда коливань, що проходять через акустичний фільтр, яким є різного виду прокладки, була якомога меншою.

Для захисту від вібрації застосовують засоби, основними з яких є: застосування безперервних процесів замість періодичних; застосування віброізолюючих і вібропоглинаючих матеріалів і конструкцій; якісний монтаж обладнання та його динамічне балансування; застосування динамічних гасителів вібрації та зустрічне спарювання двигунів, які працюють на одному валу.

Вібропоглинання полягає в нанесенні на вібруючі елементи машини пружнов'язких матеріалів, які мають великі внутрішні втрати, причому звукопоглинальний матеріал повинен бути щільно скріплений з колив [20]-ною поверхнею. Норми щодо обмеження загальної вібрації передбачають величину логарифмічного рівня коливальної швидкості в октавних полосах частот 2, 4, 8, 16, 32 і 63 Гц, щодо обмеження локальної вібрації – в октавних полосах частот 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц.

Для захисту органів дихання застосовано засоби індивідуального захисту (респіратори).

Зі всіх відомих методів організаційно-технічного характеру, у боротьбі з електричними та електромагнітними полями, застосовують: захист часом, захист відстанню, екранування силових шин і кабелів тиристорного перетворювача, вибір оптимальних режимів роботи обладнання, мінімізація часу перебування персоналу в зоні підвищеного рівня ЕМП.

Організаційно: пульт керування розміщено поза зоною підвищеного рівня поля, запроваджено ротацію персоналу, що скорочує сумарний час опромінення.

Стаціонарні екрани як невід'ємна частина конструкції електроустановок призначені для захисту персоналу при оглядах обладнання, оперативних переключеннях, наглядом за експлуатацією електроустановки і т. ін.

Для зменшення впливу теплових впливів застосовано вентилятори, високодисперсне розпилювання води, холодне екранування, застосовані установки для охолодження і кондиціонування повітря. Передбачено приміщення для відпочинку, температура в яких підтримується на рівні 22-24⁰С.

Електрообладнання прокатного стану ДС-150-1 включає мережі 10 кВ (живлення силового трансформатора), 600 В (якірне коло двигуна) та 24/36 В (кола керування). Тиристорний перетворювач і двигун кліті №12 є джерелами підвищеної електробезпеки. Захисне заземлення корпусів обладнання є обов'язковим відповідно до [17].

Рубильники, встановлені у виробничих приміщеннях на розподільних щитах, забезпечують захисними кожухами, виготовленими із вогнестійких матеріалів. Доступні для дотику металеві кожухи заземляють. У розподільних пристроях напругою вище 1000 В застосовують масляні вимикачі. В електричних системах використовують комплексні розподільні пристрої та магнітні пускателі.

Внутрішньоцехову електричну мережу виготовляють з ізолюваних дротів або кабелів, захисні оболонки яких задовольняють вимогам механічної міцності та стійкості стосовно динамічних впливів.

Відведення від магістральних ліній влаштовують із ізолюваних дротів, що прокладені в металевих трубах.

Кабелі в середині цеху можна прокладати по стінах, стелях та металевих конструкціях будови, при цьому надійно закріплювати скобами, хомутами та спеціальними кріпленнями. Канали для прокладання кабелів повинні бути глибиною не менше 40–60 см з урахуванням розмірів з'єднувальних та потрійних муфт. Відстань між силовими кабелями, прокладеними у підлозі, не менше 85 см. При спільному прокладанні кабелів у мережах напругою 1000–6000 В відстань між ними збільшують до 250 мм. Мінімальну відстань між трубопроводами, які транспортують гарячі рідини, газу, та прокладеними кабелями встановлюють не менше 1 м.

35 мм² для алюмінієвих і 16 мм² для дротів з інших матеріалів, наприклад сталю-алюмінієвих.

Для захисту від дотику до струмоведучих частин застосовують огороження, суцільні та сітчасті з розміром вічка сітки не більше 25 x 25 мм. Суцільні огороження у вигляді кожухів та кришок встановлюють з цією

метою в електроустановках напругою до 1000 В. Сітчасті огороження обладнують дверима, які замикаються на замок. Висота сітчастих огорожень повинна бути не менше 1,7 м у закритих розподільних пристроях напругою вище 1000 В і 2 м – у відкритих.

В електроустановках, в яких часто виконують роботи на огорожених струмоведучих частинах (випробувальні стенди, установки для випробування ізоляції підвищеної напруги і т. ін.), застосовують блокувальні пристрої.

Діелектричні килимки та доріжки із спеціальної гуми з рифленою поверхнею застосовують як додаткові засоби захисту від ураження електричним струмом. Для установок напругою до 1000 В використовують килимки товщиною не менше 3,5 мм, а для установок напругою 1000 В - не менше 7-8 мм. Мінімальний розмір гумових килимків 750х750 мм, мінімальна ширина ізолюючих гумових доріжок 750 мм. Для більш надійної ізоляції у приміщеннях з підвищеною небезпекою, наприклад з вологою підлогою, замість гумових килимків застосовують спеціальні ізолюючі підставки.

Роботи в електроустановках повинні проводитися навченим електротехнічним персоналом згідно кваліфікаційній групі допуску в електроустановки.

Для освітлення застосовано напругу не вище 36 В. Застосовано спеціальне реле й плавкі запобіжники. Передбачено заземлення всього устаткування й апаратів.

Розрахунок заземлюючих пристроїв електроустаткування кліті

Захисне заземлення застосовується в мережах напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю у мережах з напругою вище 1000 В, як з ізолюваною, так і із заземленою нейтраллю. Припустимі максимальні значення опору заземлюючих пристроїв становлять: 1) для електроустановок

напругою до 1000 В $R_3 \leq 4$ Ом у всіх випадках і $R_3 \leq 10$ Ом при потужності генераторів і трансформаторів 10 кВ і більше; 2) для електроустановок напругою більше 1000 В $R_3 \leq 0,5$ Ом при великій силі струму замикання на землю і $R_3 \leq 10$ Ом при малій силі струму замикання на землю у всіх випадках, а також при одночасному використанні заземлюючого пристрою для установок напругою до 1000 В[26].

Виконано розрахунок захисного заземлення електроустановок напругою більше 1000 В з ізольованою нейтраллю як розрахунковий струм замикання на землю можна прийняти струм, обчислений за формулою:

$$I_3 = \frac{U_l}{350} (35l_{кл} + l_{вл});$$

$$I_3 = \frac{6}{350} (35 \cdot 5 + 8) = 3,13 \text{ А} \quad (2.99)$$

де U_l - лінійна напруга мережі кВ;

$L_{кл}$ – загальна довжина підключених до мережі кабельних ліній, км;

$L_{вл}$ - загальна довжина підключених до мережі повітряних ліній, км;

В електроустановках напругою більше 1000 В з струмом замикання на землю менше 500 А допускається опір заземлення:

$$R_{3у} \leq \frac{125}{I_3};$$

$$R_{3у} \leq \frac{125}{3,14} = 39,61 \text{ Ом.} \quad (2.100)$$

Але тому, що до заземлюючого пристрою приєднані корпуси устаткування напругою менш 1000 В, то прийнято мінімальний опір заземлюючого пристрою $R_3 \leq 4$ Ом.

Прийнято питомий опір ґрунту $\rho = 100$ Ом·м.

Знайдено опір одиночного вертикального трубчастого заземлювача,

зануреного в ґрунт:

$$\rho = \rho_{розр} \cdot \Psi$$

$\rho_{розр}$ – розрахунковий опір ґрунту, Ом·м;

Ψ -коефіцієнт сезонності;

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l_{\epsilon}} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_{\epsilon}}{4t - l_{\epsilon}} \right);$$

$$R_{\epsilon} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 33,08 \text{ Ом.} \quad (2.101)$$

$$t = \frac{l_{\epsilon}}{2} + 0,8 = \frac{3}{2} + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

де $l = 3$ м – довжина трубчастого заземлювача, $H_0 = 0,8$ м - глибина занурення, $d = 0,05$ м - діаметр заземлювача.

Знайдено кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_{\epsilon}}{0,88 \cdot R_z}$$

$$n = \frac{33,08}{0,88 \cdot 4} = 9,5 \text{ шт.} \quad (2.102)$$

R_z – потребуємий опір штучного заземлювача,

$R_z \leq 4$ Ом ;

0,88 – коефіцієнт використання труб , враховуючий їх екрануючу дію;

Отриману кількість стрижень округлюємо до найближчого довідникового значення , значить , $n = 12$.

Визначено конфігурацію групового заземлювача (контур) з урахуванням можливості його розташування на відведеній території і відповідну довжину горизонтальної смуги :

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n ,$$

де, l_2 – довжина горизонтальної смуги , м ;

a – відстань між вертикальними стрижнями , м ;

n - кількість вертикальних стрижнів ;

Визначено відстань між вертикальними стрижнями :

$$a = k \cdot l_{\text{в}} ; \quad (2.105)$$

де , k – коефіцієнт кратності , рівний 1,2,3, прийнято $k = 2$;

$l_{\text{в}}$ - довжина вертикального стрижня , м .

$$a = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м} ,$$

$$l_{\text{г}} = 1,05 \cdot 6 \cdot 12 = 75,6 \text{ м}.$$

Обчислено опір розтіканню струму горизонтальної смуги $R_{\text{г}}$.

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_{\text{роз.}}}{2\pi l_{\text{г}}} \text{Ln} \frac{2l_{\text{г}}^2}{bt} , \quad (2.106)$$

де , $\rho_{\text{роз.}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом · м ;

$l_{\text{г}}$ – довжина горизонтальної смуги , м ;

b – ширина полоси , м ;

t - відстань від поверхні ґрунту до середини ширини горизонтальної смуги , м ;

Знайдено величину коефіцієнта використання заземлювача. Визначено опір смуги за формулою:

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_{\text{роз.}}}{2\pi l_{\text{г}}} \text{Ln} \frac{2l_{\text{г}}^2}{bt} ;$$

$$R_{\text{г}} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 75,6} \text{Ln} \frac{2 \cdot 75,6^2}{0,048 \cdot 0,83} = 3,11 \text{ Ом} \quad (2.103)$$

Обрано коефіцієнти використання вертикальних стрижнів ($\eta_{\text{в}}$) та горизонтальної полоси ($\eta_{\text{г}}$) з урахуванням числа вертикальних стрижнів (n) і відношення відстані між стрижнями (a) до їх довжини ($l_{\text{в}}$). Довідникові данні.

$$\frac{a}{l_{\text{в}}} = \frac{6}{3} = 2 ; \quad \eta_{\text{г}} = 0,29 ; \quad \eta_{\text{в}} = 0,58 .$$

Знайдено коефіцієнт використання смуги: $\eta_{\text{п}} = 0,7$.

Розраховано опір усього заземлюючого пристрою за формулою

$$R_{ep} = \frac{R_0 R_z}{R_0 \eta_z + R_z \eta_0 \cdot n} ; \quad (2.104)$$

де , R_0 , R_z – відповідно опори вертикального стрижня та горизонтальної полоси , Ом ;

η_0 , η_z – відповідно коефіцієнти використання горизонтальної полоси та вертикальних стрижнів ;

n – кількість вертикальних стрижнів.

$$R_{ep} = \frac{33,08 \cdot 3,12}{33,08 \cdot 0,29 + 3,12 \cdot 0,58 \cdot 12} = 3,29 \text{ Ом.}$$

Отриманий опір розтікання струму групового заземлювача не повинен перевищувати потребуємий опір

$$R_{ep} \leq R_z$$

$$3,29 \leq 4,0 \text{ Ом}$$

Висновок: розрахунковий опір є меншим, ніж прийнятий і відповідає нормам правил влаштування електроустановок і забезпечує безпечну експлуатацію.

2.10.3.1 Засоби індивідуального захисту

Нормативи видачі ЗІЗ встановлені відповідно до [27].

Склад засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для електромонтера визначається видами шкідливих і небезпечних чинників та нормами видачі відповідно до [27]. Видача ЗІЗ фіксується в особистих картках працівників.

Спеціальний одяг захищає персонал гарячих цехів від теплового випромінювання та іскор.

Матеріал спецодягу - льняна або бавовняно-льняна тканина, просочена вогнезахисним складом. Захисна каска з полімерних матеріалів захищає від

ударів предметами, що падають.

Таблиця 2.2

Норми видачі ЗІЗ для електромонтера з ремонту та обслуговування електрообладнання [27]

№ п/п	Найменування	Строк носки
1	Костюм х/б	12 місяців
2	Напівчоботи шкіряні	12 місяців
3	Окуляри захисні	0,5 місяців
4	Каска пластмасова захисна	36 місяців
5	Респіратор ШБ-1 «Пелюсток»	по вимозі
6	Вушні заглушки - беруші	1 зміна

Захисне взуття - шкіряне, термостійке, з рифленою підошвою, без металевих елементів у підошві (для роботи в електроустановках).

Для захисту рук - брезентові рукавиці при механічних роботах, діелектричні рукавички - при роботі в електроустановках.

Органи зору: захисні окуляри з небитким склом для захисту від стружки, іскор та бризок мастила.

Органи дихання: протиаерозольний респіратор при роботах у запиленій зоні.

Органи слуху - протишумні вкладиші з матеріалу ФПП-Ш («беруші» - фільтр Петрянова) - застосовують, коли рівень шуму перевищує 90 дБ.

Для захисту від ураження електричним струмом під час обслуговування тиристорного перетворювача та силового трансформатора: діелектричні рукавички (2 пари), діелектричні килимки, захисні щитки (2 шт.), гумові боти (2 пари), покажчики напруги (по 2 на кожний клас напруги), ізолювальні штанги (2 шт.).

2.10.3.2 Санітарно – побутові приміщення і пристрої

Виробничий процес в прокатному цеху за санітарно – гігієнічній характеристиці, відповідно до [28] відноситься до II б групи.

Для групи II б передбачений наступний склад побутових приміщень: гардеробні, душеві, вмивальні, пункти харчування, вбиральні, пункти питного водопостачання, здоров пункт.

Гардеробні призначені для зберігання домашнього та спецодягу (вуличного одягу) і розраховуються по загальній кількості працюючих з урахуванням 5% резерву.

Інші побутові приміщення розраховані за чисельністю найбільш навантаженої зміни.

Душових кабін передбачено 1 на 3 особи. Умивальників - 1 на 20 осіб. Душові та умивальні суміжні з гардеробними. Їдальня розрахована з нормою 1 місце на 4 особи.

Питні фонтанчики та автомати з підсоленою газованою водою (3-4 л/зміну на особу) розміщено не далі 75 м від робочих місць; норма - 1 пристрій на 100 осіб. У жаркий сезон видається білково-вітамінний напій.

Вбиральні віддалені від робочих місць не далі 75 м. Кількість санітарних приладів у них визначається по нормі 1 санітарний прилад для обслуговування 15 осіб.

Працівники прокатного цеху цілодобово обслуговуються здоров пунктом, який знаходиться на відстані не більш 400 м від найвіддаленішого робочого місця.

2.10.4 Пожежна безпека

Виробничий процес в прокатному цеху по вибуховій, вибухопожежній та пожежній небезпеці, згідно [29] відноситься до категорії «Г» тому що обробці підлягають негорючі матеріали в розжареному стані.

Робоча ділянка машинного залу відповідно до [30] по пожежній небезпеці відноситься до категорії II-III[31].

Споруда стану побудована з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла та ін.) і згідно [29], має II ступінь вогнестійкості.

Основними причинами, які можуть викликати пожежу є:

- спалах і замикання електроустаткування і його кабельних ліній;
- порушення вимог пожежної безпеки при виконанні вогняних робіт;
- неохайне поводження з вогнем;
- дія статичного чи грозового розряду.

Замкнутою примусовою вентиляцією приводів клітей з фільтрацією та охолодженням повітря, виносом трансформаторних камер за межі виробничого приміщення. Статичний заряд відводиться через мережу захисного заземлення.

Ймовірність ураження споруди блискавкою зменшена використанням системи блискавкозахисту II категорії, виконаного у відповідності до СН [32] 305-77.

Необхідна кількість засобів пожежогасіння ділянки машзалу приведена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Первинні засоби пожежогасіння ділянки машзалу

№ з/п	Місце установки	Тип вогнегасника		
		ВВ-5	ВВ-7	ВВ-80
1	2	3	4	5
1	РП-600 В	3	4	-
2	Машзал	2	1	2
3	Приміщення ТП	2	2	2
4	Підвал м/з	-	-	1
5	Кабельні тунелі №1,2.	1	1	-

Зв'язок з пожежною частиною за телефоном 101.

Також у місцях підвищеної небезпеки і обмеженого простору таких як: кабельні тунелі №1 і №2 та підвал машзалу, встановлена автоматична система аерозольного пожежогасіння і пожежної сигналізації типу «Варта».

Евакуаційні шляхи машзалу відповідають вимогам пожежної безпеки: ширина дверей - не менше 0,8 м, мінімальна ширина шляху евакуації - 1 м, висота проходу - 2 м. Виходи ведуть безпосередньо назовні або через сусідні приміщення з виходом назовні [33].

Необхідний час евакуації людей з приміщень з урахуванням категорії пожежної небезпеки ступеня вогнестійкості - 3 хвилини. При цьому встановлюють двері, що відкриваються в бік евакуаційного шляху: ширина дверей не менше 0.8 м, мінімальна ширина ділянки шляху евакуації не менше 1 м, висота проходу евакуації дорівнює 2 м, містки для проходу по несучих конструкціях встановлюють з нормативним навантаженням 0.7 кПа, висота проходу над містком не менше 1.8 м. Число виходів береться з розрахунку 1 вихід на $300 \div 350$ осіб [34].

Для гасіння можливих пожеж в машзалі передбачені первинні засоби пожежогасіння, відповідно до [33]. В якості гасячої речовини вода не застосовується тому, що машзал є електроустановкою закритого типу [31].

Автоматична система пожежогасіння нормативами не передбачена, однак у кабельних тунелях №1 і №2 та підвалі машзалу встановлено аерозольну систему пожежогасіння та сигналізації.

Пожарні щити встановлюються на території цеху з розрахунку один щит на 5000 м^2 . В комплект щита входять:

- Вогнегасники – 3 шт.
- Ящики з піском – 1 шт.
- Покривало з незгораючого матеріалу 1 – шт..
- Багри – 2 шт.
- Ломи 2 – шт..
- Лопати – 2 шт.

У кожному цеху забезпечено швидку та безпечну евакуацію персоналу через позначені евакуаційні виходи (двері, ворота, проходи).

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку та обґрунтування модернізації електропривода прокатної проміжної кліті №12 дротяного стана ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». За результатами виконаної роботи зроблено такі висновки:

1. Проаналізовано технологічний процес безперервного дротяного стана ДС-150-1. Встановлено, що кліть №12 першої проміжної групи є визначальною для якості кінцевого продукту - катанки діаметром 5,5-14 мм. Обґрунтовано необхідність заміни двигуна потужністю 800 кВт на двигун 630 кВт без зниження продуктивності стана.

2. Виконано розрахунок потужності приводного двигуна за методом питомої витрати енергії. За результатами розрахунку обрано двигун постійного струму незалежного збудження типу WMMAJ 4524-480 потужністю 630 кВт (виробник - Siemens, DE), що відповідає умовам роботи кліті. [5]

3. Виконано вибір електрообладнання системи ТП-Д: тиристорного перетворювача якірного кола DT3/B6C ($I_n = 2000$ А, $U_n = 600$ В), силового трансформатора GDGN 2500-12/2×1250/6, швидкодіючого автоматичного вимикача A3796-HY3. [35] [36]

4. Розроблено цифрову систему керування електроприводом на базі мікропроцесорного пристрою SIMADYN-D з двозонним регулюванням швидкості та підлеглим регулюванням параметрів. Розраховано коефіцієнти налаштування регуляторів струму якоря, швидкості, струму збудження та ЕРС. [7]

5. Проведено імітаційне моделювання системи автоматичного регулювання електроприводом у режимах: пуск без навантаження, пуск з навантаженням, пуск з накиданням навантаження. Результати моделювання підтвердили працездатність системи та відповідність показників якості заданим вимогам.

6. Виконано розрахунок електричних навантажень, вибір силових кабелів та комутаційної апаратури. Розраховано струми короткого замикання для точок K1 та K2 схеми електропостачання кліті.

7. У підрозділі охорони праці проаналізовано шкідливі та небезпечні чинники робочого місця електромонтера стана ДС-150-1. Виконано розрахунок захисного заземлення електроустаткування кліті ($R_{гр} = 3,29 \text{ Ом} < R_z = 4,0 \text{ Ом}$). Визначено склад ЗІЗ та заходи з пожежної безпеки ділянки машзалу.

Реалізація запропонованих рішень дозволяє знизити встановлену потужність привода на 21%, зменшити витрати на електроенергію та забезпечити безперебійну роботу стана при збереженні якісних показників готової продукції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шестаков В.М. Розрахунок систем автоматичного регулювання : навч. посіб. Харків : НТУ ХПІ, 2007. 224 с.
2. Паспорт дротового стану ДС-150-1 / ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» : технічна документація. Кривий Ріг, 2010. 120 с.
3. Фираго Б.І., Павлячик Л.Б. Теорія електропривода : підручник. Мінськ : БНТУ, 2004. 592 с.
4. Вимоги до електроприводів прокатних станів / Технологічний регламент ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кривий Ріг, 2005. 48 с.
5. Siemens AG. DC Motor WMMAJ 4524-480 : технічна документація. Erlangen : Siemens, 2000. 48 с.
6. Сенько В.І., Юрченко М.М., Сенько Є.В. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник. Київ : Каравела, 2011. 624 с.
7. Siemens AG. SIMADYN D. Digital Control System : технічна документація. Erlangen : Siemens, 2001. 312 с.
8. Родькін Д.Й., Чорний О.П. Цифрові системи керування електроприводами : навч. посіб. Кременчук : КДПУ, 2006. 300 с.
9. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й. Системи керування електроприводами : підручник. Кременчук : КДПУ, 2008. 452 с.
10. ABB Group. DCS800 DC Drives : technical manual. Helsinki : ABB, 2018. 248 p. URL: <https://new.abb.com/drives/dcs800> (дата звернення: 02.05.2026).
11. Мелентьев Л.А. Электропоставання промислових підприємств : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2003. 328 с.
12. Онищенко Г.Б. Электропривод промислових установок : підручник. Харків : НТУ ХПІ, 2004. 504 с.
13. Браславський І.Я. Розрахунок і проектування систем цифрового керування : навч. посіб. Єкатеринбург : УГТУ-УПІ, 1989. 96 с.
14. Трубецькой Є.М. Автоматизований електропривод : навч. посіб.

Харків : НТУ «ХП», 2010. 376 с.

15. Рожкова Л.Д., Козулін В.С. Електрообладнання станцій та підстанцій : підручник. Київ : Техніка, 2002. 576 с. [1]

16. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. Київ : Держгірпромнагляд, 2010. 40 с.

17. Закон України «Про охорону праці» : від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 02.05.2026).

18. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила безпеки у ливарному виробництві. Київ : Держгірпромнагляд, 2008. 96 с.

19. Чорний О.П. Автоматизований електропривод прокатних машин : монографія. Кременчук : КДПУ, 2009. 312 с.

20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Київ : МОЗ України, 1999. 32 с.

21. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Київ : МОЗ України, 1996. 28 с.

22. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Київ : МОЗ України, 1997. 48 с.

23. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 34 с.

24. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 16 с.

25. Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246 «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07> (дата звернення: 02.05.2026).

26. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держнаглядохоронпраці, 2001. 286 с.

27. Наказ Держгірпромнагляду від 16.04.2009 № 62 «Про затвердження

Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості». Київ, 2009.

28. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Київ : Мінрегіонбуд, 2010. 55 с.

29. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон, 2017. 32 с.

30. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). 4-те вид. Київ : Форт, 2017. 736 с.

31. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МНС України від 19.10.2004 № 126. Київ, 2004. 218 с.

32. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Київ : Мінрегіонбуд, 2008. 56 с.

33. Кодекс цивільного захисту України : від 02.10.2012 № 5403-VI. Правила пожежної безпеки в Україні. Київ, 2014. 196 с.

34. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон, 2017. 32 с.

35. ABB Group. Thyristor Converter DT3/B6C : technical manual. Helsinki : ABB, 2005. 120 p.

36. Siemens AG. Power Transformer GDGN 2500 : технічна документація. Erlangen : Siemens, 2003. 64 с.

37. Сивокобиленко В.Ф. Електричні системи і мережі : підручник. Донецьк : ДонНТУ, 2005. 303 с.

38. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила безпеки у металургійному виробництві. Київ : Держгірпромнагляд, 2008. 152 с.

39. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми загальної та локальної вібрації. Київ : МОЗ, 1999. 32 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок
141-5д-2026врб

Автор
141-5д-2026врб

Науковий керівник / Експерт
Модло Є

ІД документу
334133389

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.

17.69%
17.69%
КП 1

0.25%
0.25%
КЦ

11502
Кількість слів

90380
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		25
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		143

Джерела

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

10 найдовших фраз

Копір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИХ 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, *Горбач Олександр Миколайович* підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод прокатної проміжної кліті №12 ДС-150-1 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

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

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

1.06.2026