

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

АНАЛІЗ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
СПЦ 1-ПС-150 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Виконав: здобувач групи ЕЕМ-23ск

Микола ТЕРЕЩУК

Керівник випускної роботи _____ д-р ф-ї, ст. викладач Олег ДОЗОРЕНКО

Нормоконтролер _____ д-р ф-ї, ст. викладач Олег ДОЗОРЕНКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2026 р.

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Терещука Миколи Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз та модернізація системи електропостачання СПЦ 1-ПС-150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

2. Строк подання студентом роботи 11 червня 2026 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи – аналіз системи електропостачання дротового стану ДС-150 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та обґрунтування технічного рішення щодо модернізації електропривода головної прокатної кліті шляхом впровадження частотно-регульованого асинхронного електропривода для підвищення надійності, керованості та енергоефективності роботи обладнання
Завдання кваліфікаційної роботи: надати загальну характеристику СПЦ-1 та дротового стану ДС-150; розглянути існуючу схему електропостачання ДС-150 на напрузі 10,5 кВ; визначити основні електричні навантаження дротового стану та режим їх роботи; виконати розрахунок активної, реактивної та повної потужності електропривода; виконати розрахунок струмів короткого замикання; обґрунтувати необхідність модернізації системи електропостачання; обрати перетворювач частоти і порівняти його із електродвигуном постійного струму; виконати моделювання перехідних процесів електропривода; виконати техніко-економічне обґрунтування.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Загальна характеристика СПЦ-1 та ДС-150; 2. Особливості ДС-150 та розташування обладнання на дільниці. 3. Аналіз схеми електропостачання дільниці. 4. Основні електроприймачі дротового стану. 5. Вибір розрахункового модуля. 6. Обґрунтування модернізації та вибір перетворювача частоти. 7. Моделювання електропривода головної кліті та техніко-економічні показники.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема розташування обладнання ДС-150. 2. Схема електропостачання ДС-150. 3. Схема аварійного режиму електропостачання ДС-150. 4. Структурна схема модернізованого електропривода головної кліті. 5. Графік зміни

швидкості електродвигуна; 6. Графік зміни струму електродвигуна; 7. Графік зміни електромагнітного моменту електродвигуна.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Дозоренко О.В.		
II	Дозоренко О.В.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Аналіз загальної характеристики СПЦ-1 та призначення робочих станів	20 травня 2026 р.
2	Дослідження призначення дротового стану ДС-150 та схеми розташування його основного обладнання	22 травня 2026 р.
3	Аналіз існуючої схеми електропостачання ДС-150	25 травня 2026 р.
4	Визначення основних електроприймачів дротового стану та характеристика режимів їх роботи	28 травня 2026 р.
5	Вибір розрахункового модуля та аналіз його технічних характеристик	30 травня 2026 р.
6	Розрахунок електричних навантажень і струмів короткого замикання	2 червня 2026 р.
7	Обґрунтування модернізації електропривода головної кліті та вибір перетворювача частоти	4 червня 2026 р.
8	Вибір основного силового, вимірювального та захисного обладнання модернізованого електропривода	6 червня 2026 р.
9	Моделювання перехідних процесів електропривода головної кліті та техніко-економічна оцінка	8 червня 2026 р.
10	Формування висновків та оформлення пояснювальної записки	10 червня 2026 р.

Дата видачі завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Микола ТЕРЕЩУК
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег ДОЗОРЕНКО
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Аналіз та модернізація системи електропостачання СПЦ 1-ПС-150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»» містить: 54 с., 12 рис., 13 табл., 20 літературних джерел.

Робота присвячена аналізу існуючої системи електропостачання сортопрокатного цеху № 1, зокрема дротового стану ДС-150, та обґрунтуванню технічного рішення з модернізації електропривода головної прокатної кліті. Актуальність роботи зумовлена високою енергоємністю прокатного виробництва, складними режимами роботи електроприймачів, необхідністю підвищення надійності електропостачання, зниження пускових струмів, зменшення експлуатаційних витрат і підвищення керованості електроприводів.

Об'єкт дослідження – система електропостачання дротового стану ДС-150 сортопрокатного цеху СПЦ № 1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Мета роботи – аналіз системи електропостачання дротового стану ДС-150 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та обґрунтування технічного рішення щодо модернізації електропривода головної прокатної кліті шляхом впровадження частотно-регульованого асинхронного електропривода для підвищення надійності, керованості та енергоефективності роботи обладнання.

У першому розділі розглянуто загальну характеристику СПЦ-1, призначення та технологічну структуру дротового стану ДС-150, основні електроприймачі та режими їх роботи. Проаналізовано існуючу схему електропостачання на напрузі 10,5 кВ, двосекційну структуру шин, роботу силових трансформаторів і можливість резервування живлення в аварійному режимі.

У розрахунково-модульній частині як основний розрахунковий модуль

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.Р							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Терещук М.В.			Реферат			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевірів		Доззренко О.В.								5	2	
Н. Контр.		Доззренко О.В.						КНУ гр. ЕЕМ-23ск				
Затвердж.		Пересунько І.І.										

обрано електропривод головної прокатної кліті потужністю 700 кВт, напругою 600 В і номінальною частотою обертання 1750 об/хв. Виконано розрахунок електричних навантажень, визначено робочий струм електропривода, який становить близько 793 А, а також розраховано струм трифазного короткого замикання на стороні 0,6 кВ, що становить приблизно 26 кА.

Обґрунтовано доцільність переходу від електропривода постійного струму з колекторно-щітковим вузлом до частотно-регульованого електропривода змінного струму на базі асинхронного електродвигуна та перетворювача частоти. Для модернізованої системи запропоновано застосування перетворювача частоти потужністю 800-850 кВт, автоматичного вимикача з номінальним струмом 1000 А та відключаючою здатністю 42 кА, кабельної лінії з сумарним перерізом 480 мм² на фазу, енкодера для контролю швидкості та датчика температури для контролю теплового стану електродвигуна.

Виконано імітаційне моделювання перехідних процесів електропривода головної кліті в середовищі Matlab. Отримані графіки зміни швидкості, струму та електромагнітного моменту підтверджують можливість плавного пуску, контрольованого розгону та стабільного регулювання параметрів електропривода. Техніко-економічна оцінка показала, що запропонована модернізація дозволяє підвищити надійність роботи обладнання, зменшити витрати на технічне обслуговування, скоротити аварійні простой та покращити енергоефективність системи електропривода.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОРТОПРОКАТНИЙ ЦЕХ,
ДРОТОВИЙ СТАН ДС-150, ЕЛЕКТРОПРИВОД ГОЛОВНОЇ КЛІТІ, СТРУМ
КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ,
АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ
ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДС-150 ТА ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ СТАНІВ.9	
1.1 Загальна характеристика СПЦ-1. Призначення робочих станів.....	9
1.2 Аналіз та призначення ДС 150-1. Схема розташування обладнання.....	12
1.3 Аналіз існуючої схеми електропостачання ДС-150	16
1.4 Основні електроприймачі дротового стану	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОЇ КЛІТІ.....	23
2.1 Вибір розрахункового модуля та його технічна характеристика.....	23
2.2 Розрахунок електричних навантажень і струмів короткого замикання.....	25
2.3 Обґрунтування модернізації, вибір перетворювача та обладнання.....	28
2.4 Моделювання електропривода головної кліті.....	39
2.5 Техніко-економічна оцінка запропонованого рішення.....	46
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.3					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Терещук М.В.								
Перевірів		Дозсренко О.В.							7	1
								КНУ гр. ЕЕМ-23ск		
Н. Контр.		Дозсренко О.В.								
Затвердж.		Пересунько І.І.								

ВСТУП

Сортопрокатний цех № 1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із важливих та енергоємних виробничих підрозділів підприємства. Його робота пов'язана з використанням потужного електротехнологічного обладнання, що забезпечує безперервний процес прокатки металу. Одним із основних об'єктів цеху є дротовий стан ДС-150, призначений для виробництва катанки та сортового прокату в мотках.

Технологічний процес ДС-150 забезпечується електроприводами прокатних клітей, рольганів, ножиць, насосних і вентиляційних установок [1]. Їх робота характеризується змінним навантаженням, частими пусками та підвищеними вимогами до надійності електропостачання [2]. Навіть короткочасне порушення живлення може спричинити зупинку технологічної лінії, зниження продуктивності та збільшення експлуатаційних витрат.

Існуюча система електропостачання стану виконана на напрузі 10,5 кВ і має двосекційну структуру, що забезпечує резервування живлення в аварійних режимах [1]. Проте тривала експлуатація електрообладнання, значні пускові струми та зростання вимог до енергоефективності зумовлюють необхідність аналізу її технічного стану й визначення напрямів модернізації.

Особливо важливим елементом ДС-150 є головний електропривод прокатної кліті, від роботи якого залежить стабільність технологічного процесу. Використання електропривода постійного струму супроводжується зношуванням колекторно-щіткового вузла та підвищеними витратами на обслуговування. Тому доцільним напрямом модернізації є впровадження частотно-регульованого електропривода змінного струму, що забезпечує плавний пуск, регулювання швидкості, зменшення пускових струмів і підвищення надійності обладнання [3].

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.ВС					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Терещук М.В.			Вступ			Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевірів		Доззренко О.В.							8	1
Н. Контр.		Доззренко О.В.								
Затвердж.		Пересунько І.І.			КНУ гр. ЕЕМ-23ск					

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДС-150 ТА ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ СТАНІВ

1.1 Загальна характеристика СПЦ-1. Призначення робочих станів

Сортопрокатний цех № 1 – це один із найбільших цехів підприємства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та входить до прокатного департаменту та призначений для виробництва арматури, катанки та смуг [1].

Основним призначенням цеху – це отримання заготовок або готових виробів шляхом деформації металу між обертовими валками. Основне обладнання стану призначається для деформації металу до нього відносяться кліті с прокатними валами, електродвигуни робочих валів, редуктори та шестеренні кліті. Все інше обладнання необхідне для здійснення технологічного процесу прокатки, сюди відносять натискні пристрої рольгангів, шлепери, ножиці, моталки.

Прокатний стан можна класифікувати незалежно від конкретного призначення по типу застосовуваного електропривода. Електроприводи сортопрокатного стану є реверсивним і неревесивним, регульованим і нерегульованим, постійного та змінного струму по характеру навантаження с ударним додатком навантаження і спокійним навантаженням.

Основними напрямками розвитку прокатних станів є підвищення продуктивності, збільшення швидкості прокатки, зменшення питомих втрат електроенергії, зниження простоїв обладнання та впровадження сучасних автоматизованих систем керування [1].

На даний момент у 2026 році сам перший сортопрокатний цех складається із 3 робочих станів, а саме:

- ДС 15021 (Перший дрововий стан);

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1		
Розробив		Терешук М.В.					
Перевірів		Дозсренко О.В.					
Н. Контр.		Дозсренко О.В.					
Затвердж.		Пересунько І.І.			КНУ гр. ЕЕМ-23ск		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						9	15

- ДС 250-2 (Другий дрібносортний стан);
- ДС 250 – 3 (Третій дрібносортний стан).

Безперервні дрібносортні стани МС 250 – 2 та МС 250 – 3 однотипні та призначені для прокатки дрібносортної сталі наступного сортаменту зображений на рисунку 1.1.

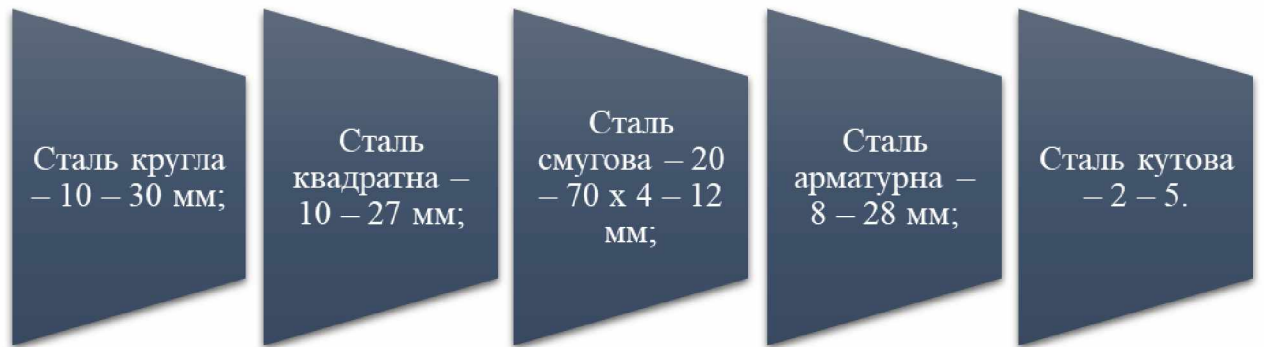


Рисунок 1.1 – Сортамент для прокатки дрібносортного стану

Вихідної заготовки для прокатки на дрібносортних станів служить квадратна заготовка номінальним перетином 80 x 80 мм довжиною від 10,5 до 11,8 м. Сортний прокат виробляється з вуглецевих і низьколегованих марок сталі всіх ступенів розкиснення.



Рисунок 1.2 – Склад дрібносортного стану

Таблиця 1.1 – Найменування та призначення ліній упаковок для двох дрібносортних станів

Найменування	Призначення
Лінії упаковок ДС 250 – 3 (Sund Birsta)	Лінії упакування третього дрібносортного стану призначенні для транспортування, розділу та зважування готової продукції для експорту продукції. Після різки металу на 630 тонних ножицях порізи мірної довжини по збиральному рольгангу надходять на рольганг ділянки упаковки. За допомогою перекладача поріз металу піднімають на конвеєр, що транспортує порізу на пристрій підрахунку прутків. Далі із прутків прокату формується пачка, яка за допомогою рольгангу транспортується на в'язальні машини для обв'язування та надання пачці прокату залишкового товарного вигляду. Формується пакет арматурного прокату за допомогою рольгангу надходить на ділянку відвантаження для залишкового зважування та контролю якості продукції, після чого мостовим краном відвантажується споживачеві.
Лінії упаковок ДС 250 – 2 (Danieli Automation)	Після порізки металу на 630 тонних ножицях порізи мірної довжини потрапляють на рольганг, що подає ділянки лінії упаковки другого стану. Вирізаний торцювання металу після перекладача поріз металу подається на секцію шлепперного ланцюгового конвеєра, звідки надходить на лічильник прокату. Після підрахунку та формування пакета пачка металу необхідної маси транспортується по рольгангу на ділянку обв'язування в'язальними машинами, звідки потрапляє вагові конвеєри для зважування. Правильна машина встановлена на кожній стороні стану після виходу металу по рольгангу, що відводить, з холодильника перед 630 тоннними ножицями. Метал у

	правильну машину подається вручну, редагування відбувається автоматично. Після правильної машини метал у товарному вигляді надходить на різання 630 тонними ножицями, після чого збиральним рольгангом транспортується на липкі упаковки, що подає рольганг.
--	--

1.2 Аналіз та призначення ДС 150-1. Схема розташування обладнання

Перший дротовий стан вважається безперервним та призначений для виробництва катанки і сортового прокату в мотках шляхом нагріву і прокатки вихідних квадратних заготовок перетином 125 x 125 мм (150 x 150 мм), довжиною від 0,8 до 11,8 із марок сталі. Дротовий стан 150-1 становить із нагрівальної печі, 14 горизонтальних клітей, 4-х горизонтальних та 4 вертикальних клітей та міні – блоків, 2-х десяти кліткових дротових блоків, установи 2-х стадійного охолодження катанки та обладнання хвостової частини зазначені на рисунку 1.3.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

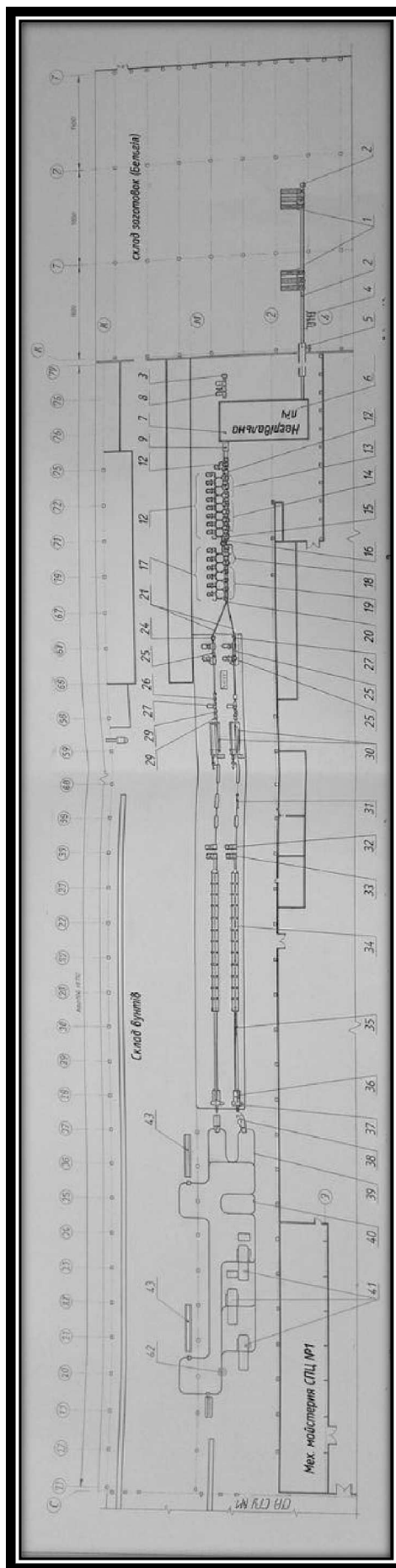


Рисунок 1.3 – Схема розташування обладнання ДС-150

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

На рис. 1.3 зображено: 1 – завантажувальні грати; 2 – відвідний рольганг; 3 – упор; 4 – зіштовхувач зі збірним стелажам; 5 – рольганові ваги; 6 – нагрівальна піч; 7 – відвідний рольганг; 8 – зіштовхувач зі збірним стелажам; 9 – рольганг зі стрілою; 10 – трайбапарат; 11 – двониткові розривні ножиці; 12 – чорнова група клітей; 13 – кліті дуо «670»; 14 – кліті дуо "490"; 15 – кліті дуо «390»; 16 – скрапні кривошипні ножиці; 17 – перша проміжна група клітей; 18 – кліті дуо «390»; 19 – кліті дуо «340»; 20 – розподільна стрілка; 21 – напрямна стрілка; 22 – одноститкові розривні ножиці; 23 – друга проміжна група клітей; 24 – вертикальний петлеутворювач; 25 – прокатні міні блоки «2 х 215»; 26 – лінія водяного охолодження; 27 – універсальні ножиці; 28 – горизонтальний петлеутворювач; 29 – утримуючі ножиці; 30 – десятиклітинні чистові блоки; 31 – ділянка водяного охолодження; 32 – трайбапарат; 33 – виткоукладач; 34 – вентиляторна система охолодження; 35 – роликовий транспортер; 36 – рольганг збирання витків; 37 – виткозбірник; 38 – вантажні блоки; 39 – гаковий конвеєр; 40 – інспекційна ділянка; 41 – пристрій для підпресування та ув'язування бунтів; 42 – ваги; 43 – кроковий транспортер;

Прокатка на стані ведеться у дві нитки у чорновій та 1 проміжній групах мінімальна швидкість прокатки 120 м/сек, розрахункова робоча від 23 до 110 м/сек.

Підготовлені для прокатки заготовки поплавочно відповідно до замовлення укладаються пражків – кранами на пристрої розкладки звукоонних решіток в один ряд. Розкладні пристрої крок за кроком переміщують шар заготовок по завантажувальній решітці. Передавальні пристрої заготовки поштучно передаються на рольганг, що підводить. У разі потрапляння дефектних заготовок на рольганг, що підводить, вони виводяться з технологічного потоку зіштовхувачем на збірний стелаж. Заготівлі після попередньої зупинки за допомогою упору, що опускає, зважуються вагами, вбудованими в останню секцію рольганга.

Нагрівання заготовок здійснюється у методичній печі з крокуючими балками, бічним завантаженням та видачею заготовок. При необхідності

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розвантаження печі, у разі виникнення аварійної ситуації в лінії стану, нагріті заготовлі за допомогою трайбапарата – та пічного рольгангу транспортуються відвідним рольгангом та зіштовхувачем передаються на стелаж, розташований на ад'юстажі Блюмінгу, звідки після охолодження забираються.

Комбінована нагрівальна піч із крокуючими балками та крокуючим подом призначена для нагрівання заготовок перед прокаткою. Система опалення нагріву автоматичних зон. Режим спалювання палива забезпечує під-тельную піч, що складається зі згоряння газу в робочому просторі печі при мінімальному надлишку повітря. Як паливо використовується природний газ. Метал нагрівають для надання йому більшої пластичності при прокатуванні та зниженні опору деформації. Заготовлі, що видаються з печі на стан, повинні бути рівномірно нагріті за перерізом. Не допускається оплавлення, перегрів та перепал металу.

Після ділянки водяного охолодження прокат подається на виткоукладач, що укладає його у вигляді плоскої спіралі рухомий транспортер. Витки прокату переміщаються на роликовому транспортері, піддаються регульованому повітряному охолодженню в теплоізолюючому тунелі з кришками. Витки прокату з виткозбірника надходять у накопичувальний пристрій, де виробляється формування мотка на піку дорну. Сформований у виткозбірнику моток прокату навішується на гак ланцюгового транспортера, транспортується в інспекційну ділянку, де проводиться його огляд, видаляються кінці прокату з дефектами і відбираються проби для випробувань. Готовий прокат підпресовується та ув'язується катанкою на установках для підпресування та обв'язування бунтів фірм SCHITZ SÖHNE та SMS MEER вказаний у таблиці 1.2:

Таблиця 1.2 – Установка підпресування та обв'язування бунтів

№	Технічні параметри	Одиниця виміру	Значення
1	Висота бунта (max)	мм	1050
2	Висота бунта (min)	мм	500
3	Зовнішній діаметр бунта	мм	1250
4	Внутрішній діаметр бунта	мм	850

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

5	Вага бунта	кг	2000
6	Катанка ув'язування бунтів	мм	6,5
7	Міцність катанки на ув'язування	Н/мм ²	400

1.3 Аналіз існуючої схеми електропостачання ДС-150

Однією з переваг є висока надійність електропостачання з можливістю резервування навантаження та розподілом споживачів між двома секціями шин і через це експлуатація обладнання протягом певного часу потребує модернізації окремих елементів системи електропостачання, підвищення рівня автоматизації та засобів контролю режимів роботи обладнання [4].

Оскільки сортопрокатний цех № 1 є одним із найбільших на підприємстві сама схема електропостачання зображена на рисунку 1.4 є однолінійною яка живиться від підстанції із робочою напругою 10,5 кВ яка поділяється на 2 секції шин, що забезпечує високу надійність електропостачання першого дротового стану для забезпечення електроенергією дротовий стан [4–5].

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

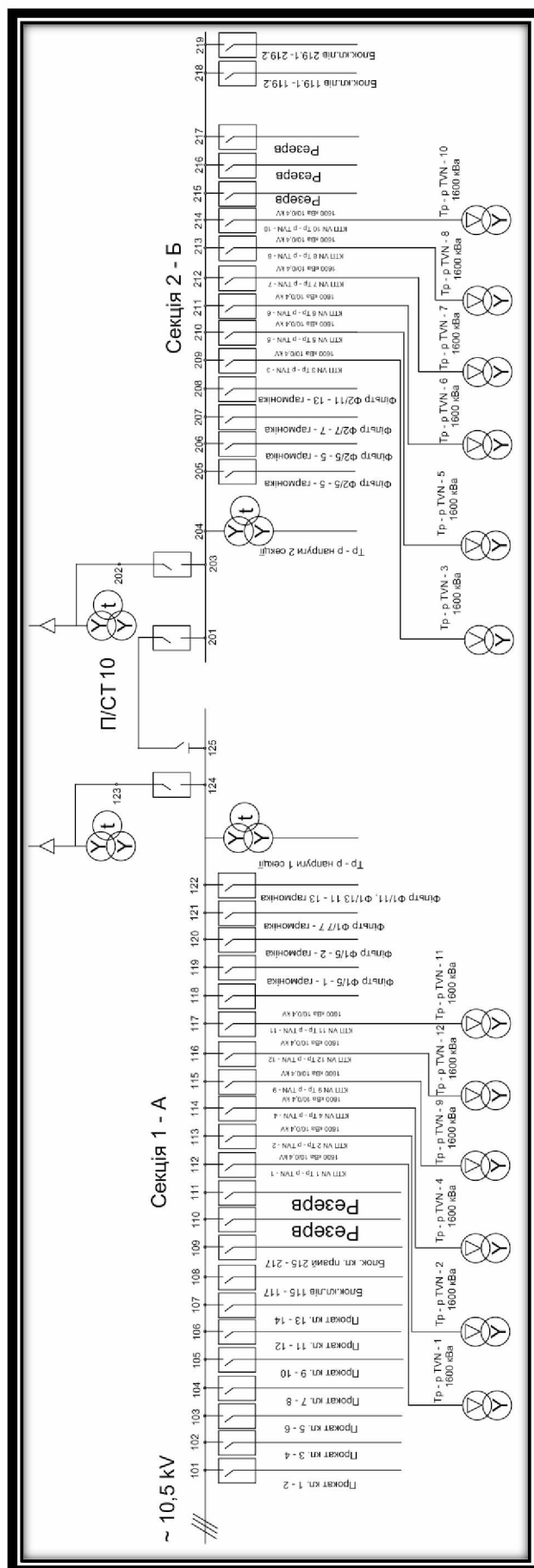


Рисунок 1.4 – Схема електропостачання ДС-150

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01		Арк.
							16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Самі 2 секції живляться від трансформаторів при цьому вони через секційні вимикачі, а саме живлення стану здійснюється від понижувальної підстанції (П/СТ 10).

Система побудована за двосекційною схемою, яка забезпечує рівень надійності живлення обладнання дротового стану. Розподільчий пристрій складається з двох секцій шин які зображені на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Склад двох секцій шин

Кожна секція живиться від окремого вводу та містить трансформаторні фідери через яких йде живлення силових трансформаторів [5]. Для підвищення надійності між секціями передбачений секційний вимикач, який у нормальному режимі роботи знаходиться у вимкненому стані. Якщо живлення однієї із секцій немає – то відбувається резервування навантаження через секційний зв’язок.

На рисунку 1.6 наведено спрощену схему аварійного режиму роботи системи електропостачання при якому секція 1 – А відключена, а живлення через секцію 2 – Б здійснюється через увімкнений секційний вимикач.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

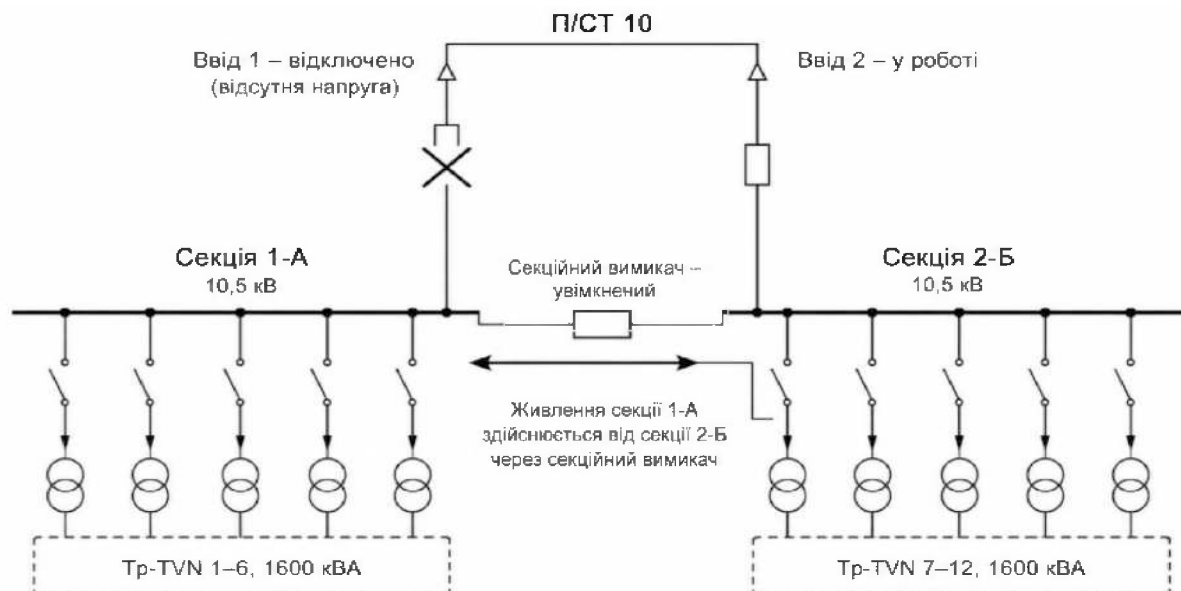


Рисунок 1.6 – Схема аварійного режиму електропостачання ДС-150

Такий режим підвищує надійність електропостачання дротового стану, оскільки дозволяє уникнути повного знеструмлення технологічного обладнання. Однак робота системи у аварійному режимі потребує перевірки допустимого навантаження секцій, трансформаторів та кабельних ліній [6]. У разі перевищення допустимих значень частина споживачів повинна бути відключена для запобігання перевантаження електрообладнання.

Така структура забезпечує достатньо високий рівень надійності електропостачання електроприймачів дротового стану, що дає можливість зберігати працездатність електрообладнання у випадку аварійних відключень. Разом із тим тривала експлуатація технічного обладнання та чималих вимог до енергоефективності зумовлюють необхідність аналізу навантажень і подальшої модернізації системи електропостачання.

1.4 Основні електроприймачі дротового стану та їх характеристика режимів роботи

Перший дротовий стан являє собою потужний хоч і складний технічний комплекс, до складу входить чимала кількість електроприймачів різного призначення які зображені на рис. 1.7.

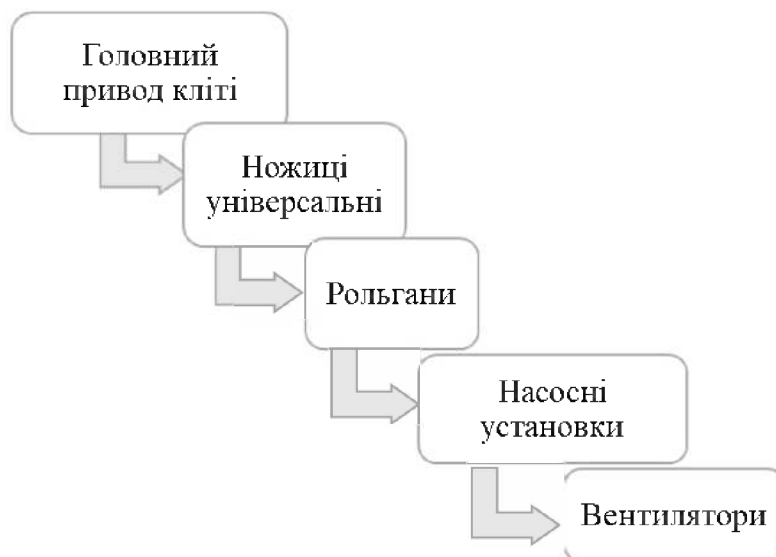


Рисунок 1.7 – Основні електроприймачі ДС-150

Основними споживачами електричної енергії є електроприводи прокатних клітей, рольганів, універсальних ножиць, насосних установок, вентиляторів системи охолодження так як вони працюють як в тривалому або змінному режимі навантаження зазначені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.3 – Характеристика режимів роботи приймачів

Визначення	Робота приймачів	Режими
Головні приводи прокатних клітей	Забезпечують процес деформації металу та працюють у складних умовах. Саме для них характерні значні пускові струми, зміни навантаження, високі динамічні моменти та підвищені вимоги до регулювання швидкості обертання валків.	Повторно-короткочасний

Універсальні ножиці	Не менш важливими так як, сам електропривод в більшій частині це асинхронні двигуни типу WMMAJ2813-750 працюють у повторно – короткочастному режимі та характеризуються короткочастними піковими навантаженнями в момент розрізання металу. Надійність їх роботи безпосередньо впливає на якість готової продукції та продуктивність стану.	Повторно-короткочасний
Насосні станції та вентилятори	Для забезпечення необхідного температурного режиму обладнання на ДС-150 використовуються насосні станції та вентилятори системи охолодження прокатного обладнання та дотримання технологічних параметрів виробництва	Рівномірне
Рольгани	Призначені для транспортування металу між окремими ділянками технологічної лінії.	Повторно-короткочасний

Аналіз режимів роботи електроприймачів першого дротового стану показує, що найбільш відповідальним електроприймачами дротового стану є головні приводи прокатних клітей, насосні установки систем охолодження. Наявність значної кількості споживачів із повторно короткочасним режимом роботи обумовлює врахування змінну характеру навантаження при подальшому виконання розрахунків системи електропостачання.

Отже, у першому розділі було розглянуто загальну характеристику сортопрокатного цеху № 1 та призначення дротового стану ДС-150. Встановлено, що СПЦ-1 є одним із важливих виробничих підрозділів підприємства, у якому використовується значна кількість електроприймачів різного призначення та потужності.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Було проаналізовано технологічну структуру дрогового стану ДС-150. До складу стану входять нагрівальна піч, прокатні кліті, рольгани, ножиці, трайбапарати, системи повітряного охолодження, виткоукладачі, транспортери та інше допоміжне обладнання.

Така структура потребує надійної та стабільної системи електропостачання, оскільки порушення живлення окремих електроприймачів може призвести до зупинки технологічного процесу [6].

Розглянуто існуючу схему електропостачання ДС-150 на напрузі 10,5 кВ. Система побудована за двосекційною схемою, що дозволяє підвищити надійність живлення технологічного обладнання. Наявність двох секцій шин і секційного вимикача забезпечує можливість резервування електропостачання у разі аварійного відключення одного з введів.

Також було розглянуто аварійний режим роботи системи електропостачання. Встановлено, що у разі відключення однієї секції можливе живлення частини навантаження від справної секції через секційний вимикач. Це дозволяє зменшити ризик повного знеструмлення обладнання та підвищує експлуатаційну надійність системи.

Аналіз основних електроприймачів показав, що найбільш відповідальними споживачами електричної енергії є головні приводи прокатних клітей, насосні установки системи охолодження, рольганги, універсальні ножиці та вентилятори. Найбільший вплив на режим роботи системи електропостачання мають головні електроприводи прокатних клітей, оскільки вони мають значну потужність працюють у важких режимах та потребують регулювання швидкості.

Отримані результати аналізу є основою для подальшого вибору розрахункового модуля, виконання розрахунку електричних навантажень, визначення струмів короткого замикання та обґрунтування модернізації головної кліті.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.01	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОЇ КЛІТИ

2.1 Вибір розрахункового модуля та його технічна характеристика

Першим етапом проектування системи електропостачання є визначення електричних навантажень. За значенням електричних навантажень вибирають і перевіряють електроустаткування системи електропостачання, визначають втрати потужності й електроенергії [7]. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні витрати, експлуатаційні витрати і надійність роботи електроустаткування.

Правильне визначення очікуваних електричних навантажень і забезпечення необхідного ступеня безперебійності їхнього живлення мають велике народногосподарське значення. Від цього розрахунку залежать вихідні дані для вибору всіх елементів СЕП промислового підприємства й грошові витрати при установці, монтажі й експлуатації обраного електроустаткування. Завищення очікуваних навантажень приводить до подорожчання будівництва, перевитраті провідникового матеріалу мереж і невиправданому збільшенню потужності трансформаторів й іншого електроустаткування. Заниження може привести до зменшення пропускної здатності електричної мережі, до зайвих втрат потужності, перегріву проводів, кабелів і трансформаторів, а отже, до скорочення строку їхньої служби [8].

За значенням електричних навантажень вибирають і перевіряють електроустаткування системи електропостачання, визначають втрати потужності й електроенергії. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні витрати, експлуатаційні витрати і надійність роботи електроустаткування [2].

Для виконання розрахунково-модульної частини було обрано головний

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Терешук М.В.			Розділ 2			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевірів		Дозсренко О.В.								23	28	
Н. Контр.		Дозсренко О.В.						КНУ гр. ЕЕМ-23ск				
Затвердж.		Пересунько І.І.										

привід прокатної кліті дровового стану. Даний електропривод належить до найбільш відповідальних електроприймачів технологічної лінії, оскільки безпосередньо бере участь у процесі прокатки металу та визначає продуктивність стану.

Експлуатація двигунів постійного струму в умовах прокатного виробництва супроводжується підвищеними втратами на обслуговування через наявність колекторно-щіткового вузла, потребу в регулярному контролі щіток, колектора та перетворювального обладнання [5].

Аналіз паспортних даних обладнання показав, що для привода прокатної кліті використовуються двигун постійного струму типу WNNAJ4516-950. Номінальна потужність двигуна якого складає $P = 700$ кВт, номінальною напругою $U_{\text{ном}} = 600$ В, номінальною частотою обертання $n_{\text{ном}} = 1750$ об/хв.

Даний електродвигун приймається як розрахунковий модуль для подальшого аналізу, розрахунку навантажень та обґрунтування модернізації.

Таблиця 2.1 – Технічні дані обраного обладнання

Параметр	Значення
Тип електродвигуна	WNNAJ4516-950
Рід струму	Постійний струм
Номінальна напруга	600 В
Номінальна потужність	700 кВт
Номінальна частота обертання	1750 об/хв
ККД	0,92
$\cos \varphi$	0,85
Режим роботи	Повторно-короткочасний

У даній роботі як основний розрахунковий модуль прийнято головний привід прокатної кліті потужністю 700 кВт. Такий вибір обґрунтовується тим, що головний привід кліті є одним із найбільш відповідальних електроприймачів дровового стану, безпосередньо бере участь у процесі прокатки металу та працює

в умовах змінного навантаження. Від його надійності залежить стабільність технологічного процесу та продуктивність стану.

Для подальшого розрахунку необхідно визначити 3 види потужності:

- Активна потужність;
- Реактивна потужність;
- Повна потужність;

Отримані значення будуть використані для вибору перетворювача частоти та обґрунтування модернізації електропривода.

Сам вибраний електропривод класифікується родом постійного струму та базується для перетворювального обладнання для регулювання швидкості.

Основними недоліками такого рішення є наявність колекторно-щіткового вузла, постійне обслуговування через сильну запиленість, зношування контактних елементів та значні експлуатаційні втрати.

У якості модернізації пропонується застосування частотно-регульованного електропривода відповідної потужності, перетворювача частоти. Таке рішення дозволяє забезпечити плавний пуск, регулювання швидкості, зменшення пускових струмів та зниження втрат на економічне обслуговування.

2.2 Розрахунок електричних навантажень і струмів короткого замикання

Для подальшого вибору перетворювача частоти, комутаційної апаратури та оцінки режимів роботи електропостачання необхідно виконати розрахунок основних електричних параметрів електропривода головної кліті якого ми обрали.

Розрахунок електричного навантаження виконується для визначення, активної, реактивної та повної потужності електропривода. Для оцінки навантаження системи електропостачання приймається еквівалентний коефіцієнт потужності на стороні живлення перетворювача.

Реактивна потужність визначається за формулою:

$$Q = P_{\text{ном}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 700 \cdot 0,62 = 434 \text{ квар}$$

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо $tg\varphi$ через коефіцієнт потужності:

$$tg\varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0,85} = 0,62$$

Повна потужність визначається за формулою:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{700^2 + 434^2} = 823,5 \text{ кВА}$$

Отримане значення практично зберігається з результатом, визначеним через коефіцієнт потужності.

Розрахунковий струм на стороні трифазного живлення визначаємо за формулою:

$$I = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{700}{\sqrt{3} \cdot 600 \cdot 0,85} = 793 \text{ А}$$

Струм якоря двигуна постійного струму визначаємо за формулою:

$$I_{\text{я}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \eta} = \frac{700}{600 \cdot 0,92} = 1268,11 \text{ А}$$

Отримане значення показує, що головний привід кліті є потужним приймачем та потребує застосування відповідного силового обладнання, розрахованого на робочі струми.

З наведених розрахунків зазначено, що обраний головний привід головної кліті створює значне навантаження на систему електропостачання. Повна потужність електропривода становить 823,5 кВА, що складе значну частку від потужності одного силового трансформатора типу TVN 1600 кВА який був зображений на рисунку 1.4.

У рисунку 1.4 живлення електроприймачів здійснюється через силові трансформатори типу TVN 1600 кВА. Для розрахунку приймаємо дані:

$$S_{\text{тр}} = 1600 \text{ кВА}$$

$$U_2 = 0,6 \text{ кВ}$$

$$u_{\text{к}} = 6 \%$$

де $S_{\text{тр}}$ – потужність трансформатора, U_2 – напруга на стороні низької напруги, $u_{\text{к}}$ – напруга короткого замикання трансформатора.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі для розрахування номінального струму трансформатора визначаємо за формулою:

$$I_{\text{н.трансф.}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,6} = 1540 \text{ А}$$

Струм трифазного короткого замикання на шинах 0,6 кВ, без урахування опору кабельної лінії, визначається формулою:

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{н.трансф.}}}{\frac{u_{\text{к}}}{100}} = \frac{1540}{\frac{6}{100}} = 26 \text{ кА}$$

Отримане значення є наближенням, оскільки в розрахунку не враховано опір кабельних ліній, перехідні опори контактів і фактичний режим роботи трансформатора. Струм короткого замикання на затискачах електродвигуна буде меншим ніж на шинах 0,6 через наявність ліній опору на кабельної лінії та комутаційного обладнання.

Для перевірки комутаційної апаратури необхідно, щоб її гранична вимикальна здатність була більшою за розрахунковий струм короткого замикання:

$$I_{\text{відкл}} \geq I_{\text{кз}}$$

де $I_{\text{відкл}}$ – номінальна гранична вимикальна здатність апарата.

Якщо розрахунковий струм короткого замикання становить 26 кА, то комутаційний апарат на стороні 0,6 кВ повинен мати вимикальну здатність не менше:

$$I_{\text{відкл}} \geq 26 \text{ кА}$$

Результати розрахунків струму короткого замикання зазначені у таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 – Результати розрахункового струму короткого замикання

Параметр	Позначення	Значення
Потужність трансформатора	$S_{\text{тр}}$	1600 кВА
Напруга на стороні низької напруги	U_2	0,6 кВ
Напруга короткого замикання	$u_{\text{к}}$	6 %

Номинальний струм трансформатора	$I_{н.трансф.}$	1540 А
Розрахунковий струм КЗ	$I_{кз}$	26 кА

2.3 Обґрунтування модернізації, вибір перетворювача та обладнання

Модернізація електропривода головної кліті електропривода головної кліті ДС-150 є доцільною з огляду на значну потужність електродвигуна, складні умови експлуатації та підвищені вимоги до надійності роботи прокатного обладнання [9].

Головний привод прокатної кліті належить до найбільш відповідальних електроприймачів дротового стану, оскільки він забезпечує процес деформації металу та впливає на стабільність технологічного процесу.

До модернізації головний привід прокатної кліті був виконаний на базі двигуна постійного струму типу WNNAJ4516-950 потужністю 700 кВт, номінальною напругою 600 В та частотою обертання 1750 об/хв. Даний двигун забезпечує роботу прокатної кліті та дозволяє здійснювати регулювання швидкості обертання робочих валків.

Основним недоліком двигуна постійного струму є наявність колекторно-щіткового вузла. У процесі експлуатації щітки та колектор піддаються механічному зношуванню, забрудненню, нагріванню та потребують регулярного огляду. В умовах прокатного виробництва де на обладнання впливають пил, вібрація, підвищена температура та змінні навантаження, ці недоліки стаються особливо відчутними.

Крім того, електроприводи постійного струму потребують відповідного перетворювального обладнання для живлення та регулювання швидкості. Таке обладнання має складнішу систему обслуговування, потребує регулярної діагностики та може бути менш ефективним порівняно з сучасним частотно-регульованими електроприводами змінного струму [10].

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку із цим модернізаційне рішення пропонується заміна існуючого електропривода постійного струму на частотно-регульований електропривід змінного струму [11].

Вибір перетворювача частоти виконується за потужністю електродвигуна, номінальною напругою, розрахунковим струмом та необхідною перевантажувальною здатністю. Для головного привода прокатної кліті приймаємо номінальну потужність електродвигуна:

$$P_{\text{ном}} = 700 \text{ кВт}$$

Оскільки привід прокатної кліті працює в умовах змінного та ударного навантаження, перетворювач частоти необхідно обирати із запасом за потужністю для цього приймаємо коефіцієнт запасу:

$$K_3 = 1,15$$

Розрахункова потужність перетворювача частоти визначається за формулою:

$$P_{\text{пч}} = P_{\text{ном}} \cdot K_3 = 700 \cdot 1,15 = 805 \text{ кВт}$$

Отже, для модернізації головного привода прокатної кліті необхідно обрати перетворювач частоти потужністю 800 – 850 кВт або найближче стандартне значення.

Основні вимоги до перетворювача частоти наведено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Основні вимоги до перетворювача частоти

№	Параметр	Значення
1	Призначення	Керування головним приводом прокатної кліті
2	Потужність електродвигуна	700 кВт
3	Розрахункова потужність перетворювача частоти	805 кВт
4	Прийнята потужність перетворювача частоти	800 – 850 кВт
5	Номінальна напруга	600/690 В

6	Розрахунковий струм електропривода	793 А
7	Прийнятий вихідний струм	900 А
8	Тип керування	Частотне
9	Перевантажувальна здатність	110-150 %
10	Умовне застосування	Важкий промисловий електропривод

Як приклад обладнання, що відповідає зазначеним вимогам, може бути прийнято перетворювач частоти промислового класу типу Schneider Electric Altivar Process ATV900 [17].

Для привода прокатної кліті бажано застосовувати перетворювач частоти з векторним керуванням, оскільки такий тип керування забезпечує кращу точність регулювання швидкості та моменту електродвигуна. Це важливо для прокатного виробництва, де електропривод повинен швидко реагувати на зміну навантаження під час захоплення та деформації металу.

Застосування частотно-регульованого електропривода дозволяє забезпечити плавний пуск, регулювання швидкості, обмеження пускового струму, захист електродвигуна та зменшення динамічних навантажень на механічну частину прокатної кліті. Це підвищує надійність роботи обладнання, знижує експлуатаційні втрати та покращує якість обладнання.

Структурна схема модернізованого електропривода зображена на рисунку 2.1.

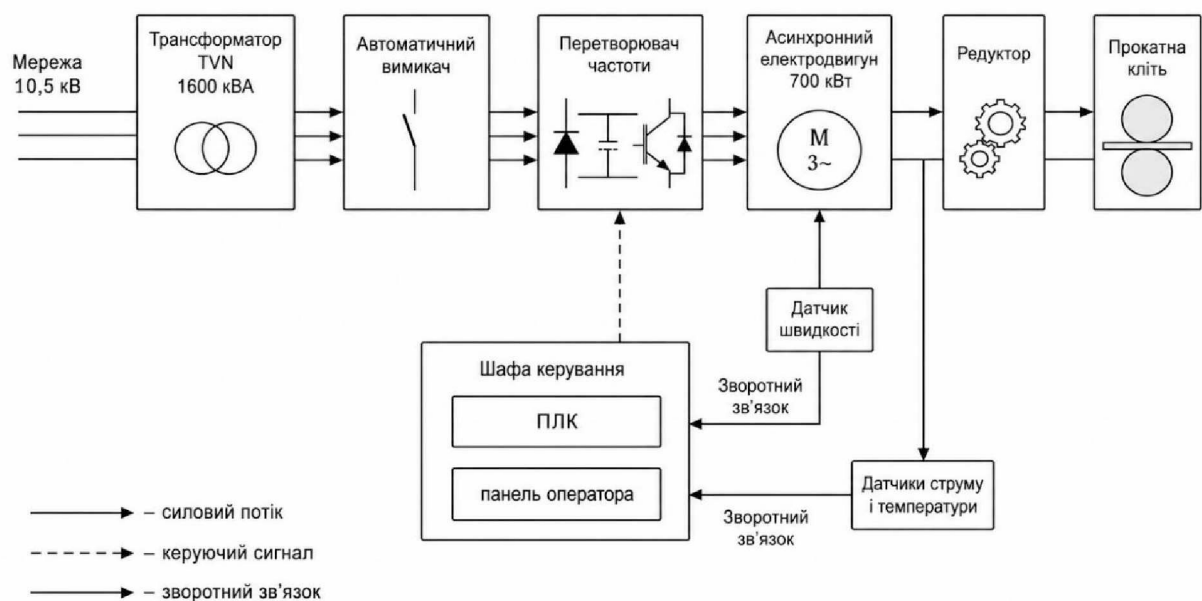


Рисунок 2.1 – Структурна схема модернізованого електропривода головної кліті

На рисунку 2.1 наведено структурну схему модернізованого електропривода головної прокатної кліті. Схема відображає основні елементи силового кола, систему керування та ланцюги зворотного зв'язку, які необхідні для забезпечення стабільної роботи частотно-регульованого електропривода.

Живлення електропривода здійснюється від мережі напругою 10,5 кВ через силовий трансформатор TVN потужністю 1600 кВА. Трансформатор забезпечує зниження напруги до рівня, необхідного для живлення силового електрообладнання привода. Після трансформатора електроенергія подається на автоматичний вимикач, який виконує функції комутації та захисту силового кола від аварійних режимів.

Основним елементом модернізованого електропривода є перетворювач частоти та напруги живлення асинхронного електродвигуна [12]. Завдяки цьому реалізується плавний пуск, регулювання швидкості обертання та обмеження пускового струму [13]. Це особливо важливо для головної прокатної кліті,

оскільки електропривод працює в умовах змінного навантаження та підвищених динамічних впливів.

Асинхронний електродвигун перетворює електричну енергію у механічну та передає обертальний момент через редуктор на прокатну кліть. Редуктор забезпечує узгодження швидкості обертання електродвигуна з необхідною швидкістю робочих валків. Прокатна кліть є виконавчим механізмом, у якому відбувається деформація металу під час прокатки.

Керування електроприводом здійснюється за допомогою шафи керування. До її складу входять програмований логічний контролер, панель оператора, апаратура захисту, засоби сигналізації та діагностики. Програмований логічний контролер оброблює сигнали від датчиків, формує команди керування та забезпечує узгоджену роботу перетворювача частоти й електродвигуна.

На рисунку 2.1 також передбачено зворотний зв'язок за швидкістю, струмом і температурою. Датчик швидкості дозволяє контролювати фактичну частоту обертання електродвигуна та підтримувати заданий режим роботи. Датчики струму і температури використовуються для контролю навантаження та захисту електродвигуна від перегріву і перевантаження.

Наявність зворотніх зв'язків підвищує точність керування електроприводом та дозволяє своєчасно реагувати на зміну режиму роботи. Це особливо важливо під час захоплення металу валками, коли навантаження на електродвигун може різко змінюватися.

Вибір автоматичного вимикача.

Для забезпечення захисту силового кола модернізованого електропривода головної прокатної кліті необхідно обрати автоматичний вимикач. Автоматичний вимикач призначений для комутації електричного кола, захисту обладнання від перевантаження та вимикання аварійних струмів короткого замикання [14].

У модернізованій схемі автоматичний вимикач встановлюється перед перетворювачем частоти. Таке розміщення дозволяє захистити силове коло, перетворювач частоти, кабельну лінію та електродвигун від аварійних режимів.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір автоматичного вимикача виконується за номінальною напругою, розрахунковим струмом навантаження та граничною вимикальною здатністю [15–16].

Для захисту силового кола модернізованого електропривода головної кліті приймається автоматичний вимикач Schneider Electric MasterPact MTZ1 10H1 у триполюсному виконанні [18]. Номінальний струм вимикача становить 1000 А, що перевищує розрахунковий робочий струм електропривода $I_p = 793$ А.

Перевірка за номінальним струмом:

$$I_{н.вим} \geq I_p$$

$$1000 \geq 793$$

Отже, за умовою тривалого навантаження вибраний автоматичний вимикач забезпечує роботу електропривода без перевантаження контактної системи. Для забезпечення захисту від струмів короткого замикання виконується перевірка за відключаючою здатністю. Розрахунковий струм короткого замикання на стороні 0,6 кВ становить приблизно $I_{кз} = 26$ кА. Відключаюча здатність автоматичного вимикача MasterPact MTZ1 10H1 становить $I_{cu} = 42$ кА.

$$I_{cu} \geq I_{кз}$$

$$42 \geq 26$$

Таким чином, вибраний автоматичний вимикач задовольняє умови вибору як за номінальним струмом, так і за відключаючою здатністю. Приймається до встановлення автоматичний вимикач Schneider Electric MasterPact MTZ1 10H1, 3Р, $I_H = 1000$ А, $I_{cu} = 42$ кА, з електронним розчіплювачем MicroLogic X / MicroLogic Active.

Вибір датчика швидкості.

Для забезпечення зворотного зв'язку за швидкістю у модернізованому електроприводі головної кліті приймається інкрементальний енкодер Baumer HOG 10 DN 1024 I [19]. Даний датчик швидкості призначений для роботи у важких промислових умовах та може застосовуватися в електроприводах

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокатного виробництва, де наявні вібрації, пил, підвищене навантаження та необхідність стабільного контролю частоти обертання.

Енкодер формує імпульсні сигнали, які надходять до системи керування перетворювачем частоти. На основі цих сигналів виконується контроль фактичної швидкості двигуна, порівняння її із заданим значенням та коригування режиму роботи електропривода. Використання датчика швидкості дозволяє підвищити точність регулювання, забезпечити стабільність роботи привода головної кліті та покращити якість технологічного процесу прокатки. Основні технічні характеристики вибраного датчика швидкості наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики датчика швидкості Baumer HOG 10 DN 1024 I

Параметр	Значення
Тип датчика	Інкрементальний енкодер
Модель	Baumer HOG 10 DN 1024 I
Кількість імпульсів	1024 імп/об
Напруга живлення	9 – 30 В DC
Тип вихідного сигналу	HTL
Вихідні сигнали	A, B, Z / K1, K2, K0
Призначення	Контроль швидкості електропривода
Місце встановлення	Вал двигуна або механічно зв'язаний вал привода

Перевіримо можливість використання енкодера при номінальній частоті обертання двигуна $n = 1750$ об/хв. Частота вихідних імпульсів визначається за формулою:

$$f = \frac{n \cdot N}{60} = \frac{1750 \cdot 1024}{60} = 29,9 \text{ кГц}$$

Максимальна допустима вихідна частота енкодера становить $f_{max} = 120$ кГц. Оскільки розрахункова частота імпульсів 29,9 кГц є меншою за

допустиме значення, вибраний датчик швидкості може бути застосований у системі керування електроприводом головної кліті.

Таким чином, для модернізованого електропривода приймається інкрементальний енкодер Baumer HOG 10 DN 1024 I, який забезпечує необхідну точність контролю швидкості, сумісність із системою керування перетворювачем частоти та достатній запас за частотою вихідних імпульсів.

Вибір датчика температури.

Для контролю теплового стану електродвигуна модернізованого електропривода головної кліті приймається датчик температури типу Pt100. Даний датчик є термоперетворювачем опору, принцип дії якого базується на зміні електричного опору платинового чутливого елемента залежно від температури.

У модернізованій системі електропривода датчик температури використовується для контролю нагріву обмоток електродвигуна та передачі інформації до системи керування. У разі перевищення допустимої температури система керування може сформувати попереджувальний сигнал або виконати аварійне відключення електропривода. Це дозволяє запобігти пошкодженню ізоляції обмоток, зменшити ризик аварійних простоїв та підвищити надійність роботи головної прокатної кліті.

Для встановлення приймається промисловий термоперетворювач опору Pt100, наприклад WKA TR10-B або аналогічний за технічними характеристиками. Датчик має достатній діапазон вимірювання температури, може працювати у важких промислових умовах та сумісний із сучасними системами автоматизованого керування електроприводами.

Основні технічні характеристики вибраного датчика температури наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики датчика температури Pt100

Параметр	Значення
Тип датчика	Термоперетворювач опору
Чутливий елемент	Pt100

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний опір при 0 °C	100 Ом
Схема підключення	3-провідна
Діапазон вимірювання температури	-50...+250 °C
Клас точності	B
Призначення	Контроль температури електродвигуна
Місце встановлення	Обмотки двигуна або підшипниковий вузол
Вихідний сигнал	Зміна електричного опору

Для електродвигуна потужністю 700 кВт контроль температури є обов'язковим елементом захисту, оскільки під час роботи головної кліті можливі тривалі навантаження, пускові режими, коливання моменту та підвищення температури обмоток. Перевищення допустимої температури може призвести до прискореного старіння ізоляції, міжвиткових замикань та аварійного виходу двигуна з ладу.

Умова роботи датчика температури полягає в тому, що його діапазон вимірювання повинен перевищувати можливу робочу температуру контролюваного вузла:

Оскільки робоча температура обмоток електродвигуна у нормальному режимі є меншою за верхню межу вимірювання датчика, прийнятий датчик Pt100 забезпечує необхідний запас за температурою та може бути використаний у системі теплового захисту модернізованого електропривода.

Таким чином, для контролю температури електродвигуна головної кліті приймається датчик температури Pt100 у 3-провідному виконанні з діапазоном вимірювання -50...+250 °C. Його застосування дозволяє реалізувати тепловий захист електропривода та підвищити надійність роботи модернізованої системи.

Вибір кабельної лінії.

Для живлення модернізованого електропривода головної кліті необхідно вибрати силову кабельну лінію, яка забезпечить передачу електричної енергії від комутаційно-захисного апарата до перетворювача частоти та електродвигуна.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір кабелю виконується за тривалим допустимим струмом, економічною густиною струму та за допустимим падінням напруги.

З урахуванням великої потужності електропривода та значного робочого струму приймається прокладання декількох паралельних кабелів. Для живлення електропривода приймається мідний кабель типу ВВГнг-LS $1 \times 240 \text{ мм}^2$. На кожну фазу передбачається встановлення двох паралельних кабелів перерізом 240 мм^2 .

Тоді загальний переріз провідників однієї фази становить:

$$S_{\Sigma} = 2 \cdot 240 = 480 \text{ мм}^2$$

Струм, який припадає на один паралельний кабель, визначається за формулою:

$$I_1 = \frac{I_p}{2} = \frac{793}{2} = 396,5 \text{ А}$$

Отже, кожен із паралельних кабелів передає струм приблизно 396,5 А. Такий підхід дозволяє зменшити струмове навантаження на окремий провідник, знизити нагрів кабельної лінії та підвищити надійність роботи системи електропостачання.

Перевіримо вибір кабелю за економічною густиною струму. Переріз кабелю визначається за формулою:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{793}{2,5} = 317,2 \text{ мм}^2$$

Для мідних кабельних ліній приймаємо:

$$J_{\text{ек}} = 2,5 \text{ А/мм}^2$$

де I_p – розрахунковий робочий струм електропривода, А; $J_{\text{ек}}$ – економічна густина струму, А/мм².

Прийнятий сумарний переріз кабельної лінії на одну фазу становить:

$$S_{\Sigma} = 480 \text{ мм}^2$$

Оскільки:

$$480 > 317,2$$

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прийнятий переріз кабельної лінії задовольняє умову вибору за економічною густиною струму.

Фактична густина струму для прийнятого перерізу становить:

$$J_{\phi} = \frac{I_p}{S_{\Sigma}} = \frac{793}{480} = 1,65 \text{ А/мм}^2$$

Отримане значення фактичної густини струму є меншим за прийняте економічне значення $J_{\text{ек}} = 2,5 \text{ А/мм}^2$, що підтверджує правильність вибору перерізу кабельної лінії.

Далі виконується перевірка кабелю за падінням напруги. Для трифазної мережі падіння напруги визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 793 \cdot 0,1 \cdot (0,045 \cdot 0,85 + 0,04 \cdot 0,527) = 8,15 \text{ В} \end{aligned}$$

Приймаємо розрахункову довжину кабельної лінії:

$$L = 0,1 \text{ км}$$

Для двох паралельних мідних кабелів перерізом 240 мм^2 приймаємо еквівалентні параметри:

$$r = 0,045 \text{ Ом/км},$$

$$x = 0,04 \text{ Ом/км}$$

Коефіцієнт потужності привода:

$$\cos \varphi = 0,85$$

Тоді:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,85^2} = 0,527$$

Відносне падіння напруги становить:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100 \% = \frac{8,15}{600} \cdot 100 \% = 1,36 \%$$

Отримане значення падіння напруги не перевищує допустиме значення 5 %, тому вибрана кабельна лінія задовольняє умову за втратою напруги.

Основні результати вибору кабельної лінії наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір кабельної лінії живлення електропривода

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
Розрахунковий робочий струм	793 А
Номінальна напруга	600 В
Тип кабелю	ВВГнг-LS
Матеріал жил	Мідь
Прийнятий переріз одного кабелю	1×240 мм ²
Кількість паралельних кабелів на фазу	2
Сумарний переріз на фазу	480 мм ²
Струм одного кабелю	396,5 А
Фактична густина струму	1,65 А/мм ²
Розрахункова довжина лінії	100 м
Падіння напруги	8,15 В
Відносне падіння напруги	1,36 %

Таким чином, для живлення модернізованого електропривода головної кліті приймається кабельна лінія на основі мідного кабелю ВВГнг-LS 1×240 мм² з прокладанням двох паралельних кабелів на кожну фазу. Прийняте рішення забезпечує допустиме струмове навантаження, відповідає умові економічної густини струму та має допустиме падіння напруги.

2.4 Моделювання електропривода головної кліті

Для додаткового аналізу роботи модернізованого електропривода головної кліті доцільно виконати спрощене моделювання перехідного процесу пуску електродвигуна. Моделювання дозволяє оцінити характер зміни швидкості обертання, моменту навантаження та струму двигуна під час пуску і виходу на сталий режим роботи.

У роботі розглядається модернізований варіант електропривода, який складається з асинхронного електродвигуна, перетворювача частоти, шафи керування та механічної частини привода прокатної кліті. У порівнянні з існуючим приводом постійного струму, частотно-регульований електропривод

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

забезпечує, плавне наростання частоти наростання живлення, а отже і плавний розгін електродвигуна.

Для подальшого моделювання характеристик приймаємо вихідні дані електродвигуна головної кліті WNNAJ4516-950 зазначені у таблиці 2.3:

Таблиця 2.7 – Технічні дані електродвигуна головної кліті WNNAJ4516-950

Параметр	Значення
Тип електродвигуна	WNNAJ4516-950
Номінальна напруга	600 В
Номінальна потужність	700 кВт
Номінальна частота обертання	1750 об/хв
ККД	0,92
$\cos\varphi$	0,85

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна, $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, $n_{\text{ном}}$ – номінальна частота, $\cos\varphi = 0,85$, η – коефіцієнт ККД.

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою:

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{9550 \cdot 700}{1750} = 3820 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для аналізу пускового режиму приймаємо, що перетворювач частоти забезпечує плавний розгін електродвигуна до номінальної швидкості за заданий час. У спрощеній моделі швидкість обертання двигуна змінюється за експоненціальним законом:

$$n(t) = n_{\text{ном}} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

де $n(t)$ – поточна швидкість обертання, t – час, T – стала часу розгону.

Для подальшого моделювання приймаємо сталу часу:

$$T = 3 \text{ с}$$

Пусковий стум електропривода з перетворювачем частоти є меншим, ніж при прямому пуску асинхронного двигуна від мережі. Для частотно-

регульованого електропривода пусковий струм зазвичай обмежується перетворювачем частоти і не має різкого стрибкоподібного характеру.

Розрахунковий струм на стороні трифазного живлення був визначений у підрозділі 2.2:

$$I = 793 \text{ A}$$

Для моделювання приймаємо, що максимальний струм під час пуску не перевищує:

$$I_{\text{пуск}} = 1,2 \cdot I = 1,2 \cdot 792,5 = 951 \text{ A}$$

Для порівняння, у разі прямого пуску асинхронного електродвигуна пусковий струм може у декілька разів перевищувати номінальний. Тому використання перетворювача частоти дозволяє зменшити навантаження на систему електропостачання, трансформатори, кабельні лінії та комутаційну апаратуру.

Результати моделювання представлено у програмному середовищі Matlab у вигляді графіків швидкості, моменту та струму електродвигуна зазначений у рисунку 2.2.

```
1  clc;
2  clear;
3  close all;
4  P = 700;
5  n_nom = 1750;
6  I_nom = 793;      T_const = 3;
7  t = 0:0.1:20;
8  M_nom = 9550 * P / n_nom;
9  n = n_nom * (1 - exp(-t / T_const));
10 I = I_nom + 0.2 * I_nom * exp(-t / T_const);
11 M = M_nom * (1 - exp(-t / T_const));
12 figure;
13 plot(t, n, 'LineWidth', 2);
14 grid on;
15 xlabel('Час, с');
16 ylabel('Швидкість, об/хв');
17 title('Графік зміни швидкості електродвигуна');
18 figure;
19 plot(t, I, 'LineWidth', 2);
20 grid on;
21 xlabel('Час, с');
22 ylabel('Струм, А');
23 title('Графік зміни струму електродвигуна');
24 figure;
25 plot(t, M, 'LineWidth', 2);
26 grid on;
27 xlabel('Час, с');
28 ylabel('Момент, Н·м');
29 title('Графік зміни електромагнітного моменту');
```

Рисунок 2.2 – Фрагмент програмного коду для моделювання швидкості, струму та електромагнітного моменту

Наведений код дозволяє побудувати графіки зміни швидкості струму та електромагнітного моменту електродвигуна під час пуску. У моделі використано паспортні дані електропривода WNNAJ4516-950. Отримані графіки вискористано для аналізу перехідного процесу модернізованого електропривода.

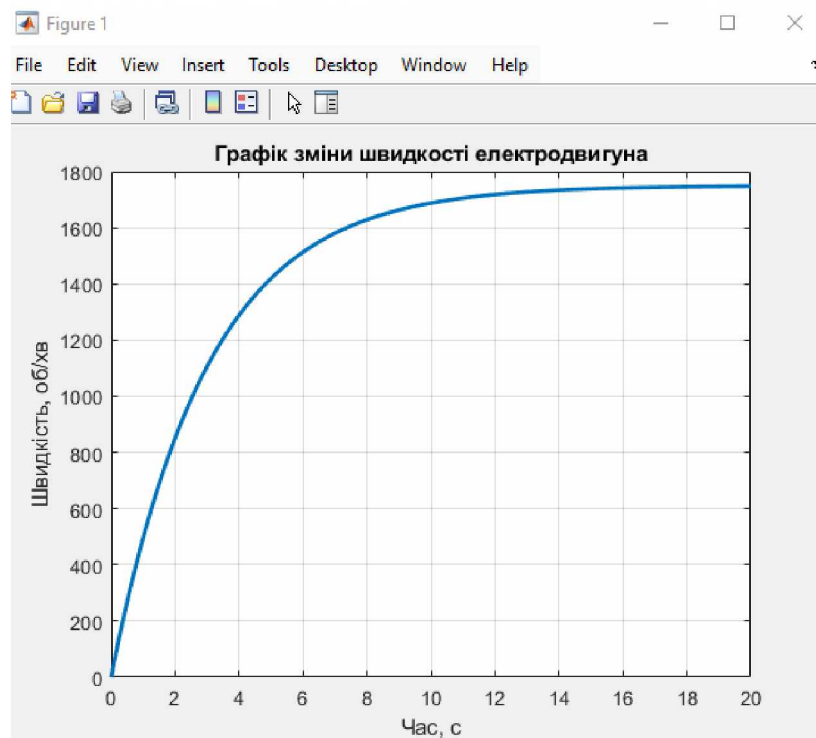


Рисунок 2.3 – Графік зміни швидкості електродвигуна

На рисунку 2.3 наведений графік зміни швидкості електродвигуна під час пуску електропривода головної кліті. З графіка видно, що швидкість обертання двигуна збільшується поступово, без різких стрибків та коливань. На початку пуску швидкість дорівнює нулю, після чого плавно зростає та наближається до номінального значення

Такий характер зміни швидкості пояснюється застосуванням перетворювача частоти, що забезпечує поступове наростання частоти і напруги живлення електродвигуна. На відміну від

Прямого пуску від мережі частотний пуск дозволяє уникнути різкого електромеханічного удару в момент запуску. Це особливо важливо для електроприводу прокатної кліти, оскільки механічна частина приводу містить редуктор, муфти, вали та робочі валки, які при різкому пуску піддаються значним динамічним навантаженням.

Згідно з графіком, основний розгін двигуна відбувається в перші секунди після запуску. Після цього швидкість поступово стабілізується і переходить до режиму, що встановився. Відсутність різких коливань швидкості свідчить про стійкий характер роботи електроприводу та достатню плавність перехідного процесу.

Для технологічного процесу прокатки це має важливе значення, оскільки стабільна швидкість обертання валків впливає на якість прокату, рівномірність деформації металу та узгодженість роботи суміжного обладнання.

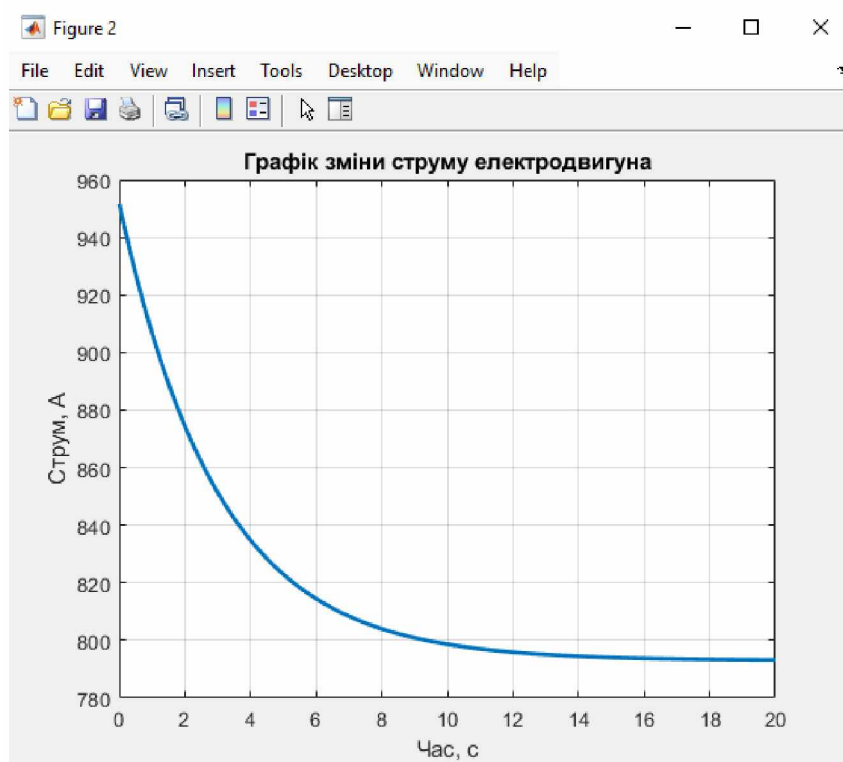


Рисунок 2.4 – Графік зміни струму електродвигуна

На рисунку 2.4 показано графік зміни струму електродвигуна під час пуску. З графіка видно, що на початку пускового процесу струм має максимальне значення, однак не має різкого стрибкоподібного характеру.

Після початку розгону струм поступово зменшується і наближається до сталого значення. Такий характер зміни струму є характерним для частотно-регульованого електроприводу, оскільки перетворювач частоти обмежує пусковий струм і не допускає його багаторазового перевищення. Це є одним із головних переваг запропонованої модернізації.

У разі прямого пуску потужного електродвигуна від мережі пусковий струм може в декілька разів перевищувати номінальний. Для системи електропостачання ДС-150 це могло б створювати додаткове навантаження на трансформатори, кабельні лінії, комутаційну апаратуру та захист. Застосування перетворювача частоти дозволяє зменшити негативний вплив пускових режимів на мережу, знизити просідання напруги та підвищити стабільність роботи інших електроприймачів стану.

З графіка також видно, що після завершення перехідного процесу струм стабілізується. Це означає, що електропривід переходить до нормального робочого режиму без тривалого перевантаження. Для головного приводу прокатної кліті це важливо, оскільки перевищення струму може призвести до перегріву електродвигуна, спрацювання захистів або скорочення рядка служби ізоляції.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

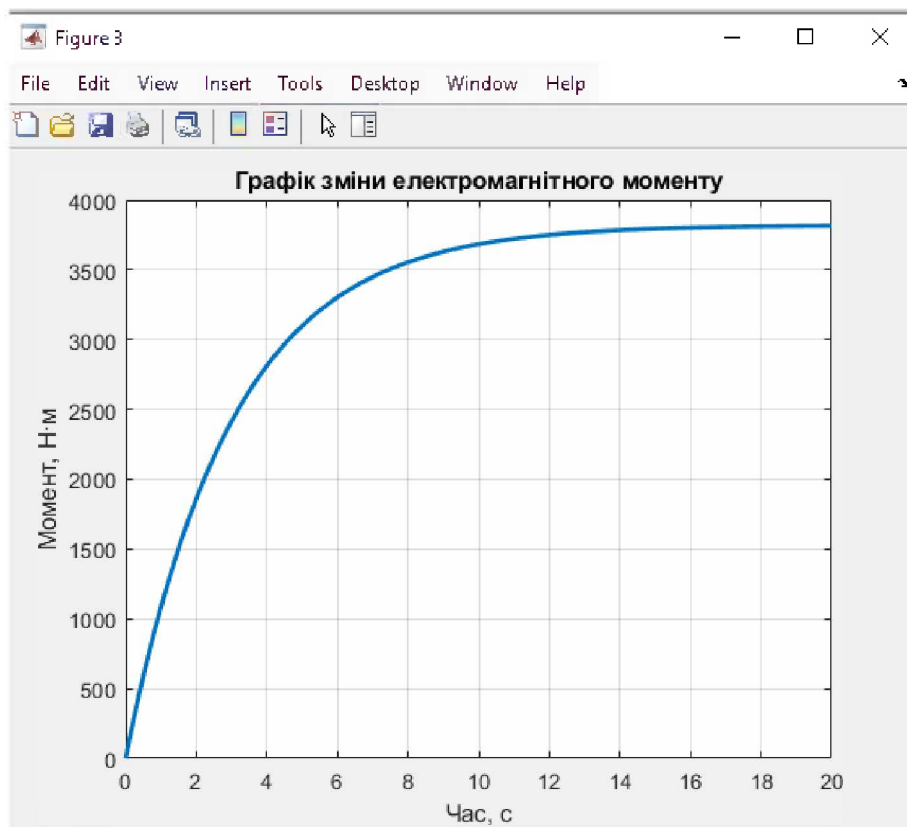


Рисунок 2.5 – Графік зміни електромагнітного моменту

З рисунку 2.5, момент електродвигуна зростає плавно, поступово досягаючи номінального рівня. Така динаміка є сприятливою, оскільки усуває ризик раптових ударних навантажень на механізми електропривода. Це критично важливо для прокатної кліті, де в момент захоплення металу валками навантаження може різко змінюватися.

Плавне наростання моменту мінімізує механічний вплив на редуктор, муфти, вали та робочі валки. Завдяки цьому зменшується ймовірність поломок, знижується інтенсивність зношування деталей та підвищується загальна надійність системи. До того ж стабільне формування моменту забезпечує рівномірність прокатки металу, що покращує експлуатаційні показники технологічного обладнання.

Отримані результати моделювання вказують на покращення пускових характеристик електропривода із зменшенням електричних та механічних навантажень для забезпечення стабільного режиму роботи обладнання.

Аналіз графіків демонструє, що електропривод забезпечує плавний розгін двигуна до номінальної швидкості без різких стрибків струму, що дозволяє зменшити динамічні навантаження на редуктор, муфти та робочі валки кліті. Крім того, слід зазначити, що плавний пуск знижує негативний вплив електропривода на систему електропостачання дільниці.

2.5 Техніко-економічна оцінка запропонованого рішення

Техніко-економічна оцінка виконується для визначення доцільності модернізації головного електропривода прокатної кліті дровового стану ДС-150. У роботі розглядається заміна існуючого електропривода постійного струму потужністю 700 кВт на частотно-регульований електропривод змінного струму з асинхронним електродвигуном та перетворювачем частоти потужністю 800–850 кВт.

Основний економічний ефект від запропонованого рішення формується не лише за рахунок зниження споживання електроенергії, а й завдяки зменшенню витрат на технічне обслуговування, скороченню аварійних простоїв, підвищенню надійності та покращенню керованості технологічного процесу [20]. Для прокатної кліті з важким режимом роботи економію доцільно оцінювати комплексно, оскільки просте порівняння тільки за споживанням електроенергії не повністю відображає переваги модернізації.

Розрахунок виконується за укрупненими показниками. Орієнтовні капітальні витрати прийнято з урахуванням вартості нового електродвигуна, перетворювача частоти промислового виконання, комутаційної апаратури, кабельних ліній, датчиків, монтажних і пусконаладжувальних робіт. Фактична вартість обладнання може змінюватися залежно від виробника, комплектації, умов постачання, наявності шафового виконання, фільтрів, дроселів та сервісного супроводу.

Таблиця 2.8 – Орієнтовні капітальні витрати на модернізацію електропривода

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Стаття витрат	Прийнята вартість, тис. грн	Примітка
1	Асинхронний електродвигун 700 кВт, 600/690 В	1900	Промислове виконання для важкого режиму роботи
2	Перетворювач частоти 800– 850 кВт у шафовому виконанні	2550	Із запасом за потужністю та струмом
3	Автоматичний вимикач, контактори, захист і комутаційна апаратура	280	Для струму близько 793 А та струмів КЗ до 26 кА
4	Силові та контрольні кабельні лінії, кабельна арматура	320	З урахуванням монтажного запасу
5	Енкодер, датчик температури та допоміжні елементи контролю	80	Контроль швидкості та теплового стану двигуна
6	Монтаж, демонтаж, підключення і пусконаладжувальні роботи	450	Включно з перевіркою режимів роботи
7	Проектування, налаштування системи керування та резерв витрат	200	Для уточнення параметрів і непередбачених витрат
	Разом	5780	

Таким чином, сумарні капітальні витрати на модернізацію електропривода приймаються: $K = 5780$ тис. грн = 5,78 млн грн.

Для оцінки економії електроенергії приймаємо, що головний привід працює в умовах змінного навантаження, тому середній коефіцієнт завантаження електродвигуна становить $k_z = 0,60$. Річний фонд роботи привода приймаємо T

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

= 5000 год/рік. Середня механічна потужність на валу електродвигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{сер}} = P_{\text{ном}} \cdot k_z = 700 \cdot 0,60 = 420 \text{ кВт.}$$

Існуюча система електропривода постійного струму має втрати у двигуні, перетворювальному обладнанні та колекторно-щітковому вузлі. Для укрупненого розрахунку приймаємо загальний ККД існуючої системи $\eta_{\text{існ}} = 0,88$. Для модернізованого електропривода з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти приймаємо $\eta_{\text{мод}} = 0,93$. Різниця споживаної потужності визначається за формулою:

$$\Delta P = P_{\text{сер}} \cdot (1 / \eta_{\text{існ}} - 1 / \eta_{\text{мод}}).$$

$$\Delta P = 420 \cdot (1 / 0,88 - 1 / 0,93) = 25,7 \text{ кВт.}$$

Річна економія електроенергії становить:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T = 25,7 \cdot 5000 = 128500 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Для орієнтовного економічного розрахунку вартість електроенергії для промислового споживача приймається на рівні $C_e = 6,50 \text{ грн/(кВт} \cdot \text{год)}$. Тоді річна економія коштів за рахунок зменшення споживання електроенергії становить:

$$E_{\text{ел}} = \Delta W \cdot C_e = 128500 \cdot 6,50 = 835250 \text{ грн/рік} \approx 0,835 \text{ млн грн/рік.}$$

Отримане значення є помірним і не завищує ефект від модернізації, оскільки для головного привода прокатної кліті основна частина економічного ефекту пов'язана не тільки з електроенергією, а й з експлуатаційною надійністю. Зменшення пускових струмів, плавне наростання моменту та відсутність колекторно-щіткового вузла дають змогу зменшити витрати на обслуговування та знизити ризик аварійних зупинок.

Таблиця 2.9 – Розрахунок річного економічного ефекту

№	Складова економічного ефекту	Прийняте значення, тис. грн/рік	Обґрунтування
1	Економія електроенергії	835	Зменшення втрат у системі електропривода

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2	Зменшення витрат на технічне обслуговування	580	Відсутність колекторно-щіткового вузла, менше регламентних робіт і запасних частин
3	Скорочення аварійних простоїв	600	Підвищення надійності привода, менша ймовірність відмов у пускових режимах
	Разом	2015	

Сумарний річний економічний ефект від модернізації становить:

$$Еріч = Еел + Ето + Епр = 0,835 + 0,580 + 0,600 = 2,015 \text{ млн грн/рік.}$$

Строк окупності модернізації визначається за формулою:

$$Ток = К / Еріч,$$

де К – капітальні витрати на модернізацію, млн грн; Еріч – сумарний річний економічний ефект, млн грн/рік.

$$Ток = 5,78 / 2,015 = 2,87 \text{ року.}$$

Отже, орієнтовний строк окупності модернізації становить близько 2,9 року. Для промислового електропривода потужністю 700 кВт такий строк окупності можна вважати прийнятним, оскільки обладнання належить до відповідальних механізмів технологічної лінії, а його модернізація забезпечує не лише економічний, але й технічний ефект.

Таблиця 2.10 – Узагальнені техніко-економічні показники модернізації

№	Показник	Значення
1	Номінальна потужність електродвигуна	700 кВт
2	Прийнята потужність перетворювача частоти	800–850 кВт
3	Середній коефіцієнт завантаження	0,60
4	Річний фонд роботи електропривода	5000 год/рік
5	Річна економія електроенергії	128,5 МВт·год/рік
6	Економія коштів за рахунок електроенергії	0,835 млн грн/рік

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7	Сумарні капітальні витрати	5,78 млн грн
8	Загальний річний економічний ефект	2,015 млн грн/рік
9	Орієнтовний строк окупності	2,87 року

Запропонована модернізація електропривода головної прокатної кліті є технічно та економічно доцільною. Перехід до частотно-регульованого електропривода змінного струму забезпечує плавний пуск, зниження пускових струмів, зменшення механічних навантажень на редуктор, муфти, вали та робочі валки, а також підвищує точність керування швидкістю. Додатковою перевагою є спрощення технічного обслуговування завдяки відмові від колекторно-щіткового вузла двигуна постійного струму.

З урахуванням прийнятих капітальних витрат 5,78 млн грн та річного економічного ефекту 2,015 млн грн строк окупності становить приблизно 2,9 року. Отриманий результат підтверджує доцільність впровадження модернізованого електропривода для умов дротового стану ДС-150.

Таким чином, у другому розділі було обрано головний електропривод прокатної кліті як розрахунковий модуль, визначено його основні електричні параметри, розрахунковий струм навантаження та струм короткого замикання. Обґрунтовано доцільність модернізації шляхом переходу від електропривода постійного струму до частотно-регульованого електропривода змінного струму з асинхронним електродвигуном і перетворювачем частоти.

Виконане моделювання підтвердило технічну доцільність запропонованого рішення, оскільки частотно-регульований електропривод забезпечує плавний пуск, зменшення пускових струмів, зниження механічних навантажень і підвищення надійності роботи обладнання. Техніко-економічна оцінка показала, що модернізація має практичний сенс та спрямована на підвищення керованості, надійності й енергоефективності електропривода головної кліті ДС-150.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.02	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз системи електропостачання СПЦ-1 ДС-150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та розглянуто можливість модернізації електропривода головної прокатної кліті. Встановлено, що дротовий стан ДС-150 є важливим технологічним об'єктом прокатного виробництва, робота якого залежить від надійності електропостачання, справності силового електрообладнання та стабільності системи керування електроприводами.

У першому розділі розглянуто загальну характеристику сортопрокатного цеху № 1, призначення дротового стану ДС-150, склад основного технологічного обладнання та особливості його електропостачання. Проаналізовано існуючу схему живлення електроприймачів, склад секцій шин, основні електроприймачі стану та роботу системи електропостачання в нормальному й аварійному режимах. Встановлено, що порушення живлення головних електроприводів може призвести до зупинки технологічного процесу, браку продукції, простою обладнання та додаткових витрат.

Під час аналізу електроприймачів ДС-150 визначено, що найбільш відповідальним елементом є електропривод головної кліті, оскільки він забезпечує передачу механічної енергії на робочий орган прокатного обладнання. Для подальших розрахунків обрано електропривод потужністю 700 кВт, напругою 600 В та номінальною частотою обертання 1750 об/хв. Такий вибір обґрунтований важкими умовами роботи головного привода, значними механічними навантаженнями, частими змінами режиму, впливом вібрації, пилу та підвищеної температури.

У другому розділі виконано розрахунок основних електричних параметрів вибраного електропривода. Визначено активну, реактивну та повну потужність навантаження. При активній потужності 700 кВт, коефіцієнті потужності 0,85 та ККД 0,92 розрахунковий струм електропривода становить приблизно 793 А.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.В				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Терещук М.В.				Висновки	Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевірів	Дозсренко О.В.						51	3	
Н. Контр.	Дозсренко О.В.					КНУ гр. ЕЕМ-23ск			
Затвердж.	Пересунько І.І.								

Це значення використано для вибору силового комутаційного обладнання, кабельної лінії та елементів системи захисту.

Виконано розрахунок струму короткого замикання на стороні 0,6 кВ, який становить приблизно 26 кА. Для захисту силового кола модернізованого електропривода прийнято автоматичний вимикач Schneider Electric MasterPact MTZ1 10N1 з номінальним струмом 1000 А та відключаючою здатністю 42 кА. Вибраний апарат задовольняє умови вибору за номінальним струмом і відключаючою здатністю.

У роботі обґрунтовано доцільність модернізації електропривода головної кліті шляхом переходу від системи електропривода постійного струму до асинхронного електропривода з перетворювачем частоти. Основними недоліками існуючого електропривода є наявність колекторно-щіткового вузла, підвищені витрати на технічне обслуговування, зношування контактних елементів, чутливість до пилу, вібрації та температурних впливів.

Модернізований електропривод забезпечує плавне регулювання швидкості, зменшення пускових струмів, зниження механічних навантажень на вал і редуктор, підвищення точності керування технологічним процесом та покращення енергоефективності. Для модернізованої системи прийнято перетворювач частоти потужністю 800–850 кВт, що забезпечує необхідний запас за потужністю відносно електродвигуна 700 кВт. Як приклад обладнання може бути використаний Schneider Electric Altivar Process ATV900 або аналогічний перетворювач частоти промислового виконання.

Для контролю швидкості електропривода прийнято інкрементальний енкодер Baumer HOG 10 DN 1024 I з роздільною здатністю 1024 імп/об. При номінальній частоті обертання двигуна 1750 об/хв частота вихідних імпульсів становить приблизно 29,9 кГц, що не перевищує допустиму частоту роботи датчика. Це підтверджує можливість його використання в системі зворотного зв'язку за швидкістю.

Для контролю теплового стану електродвигуна прийнято датчик температури Pt100 у 3-провідному виконанні з діапазоном вимірювання –50...+250 °С. Його застосування дозволяє контролювати температуру обмоток

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

або підшипникових вузлів двигуна та формувати сигнал попередження або аварійного відключення у разі перегріву.

Для живлення електропривода, з урахуванням розрахункового струму 793 А, прийнято мідний кабель ВВГнг-LS 1×240 мм² із прокладанням двох паралельних кабелів на кожну фазу. Сумарний переріз на одну фазу становить 480 мм². Перевірка за економічною густиною струму та падінням напруги показала, що прийнята кабельна лінія має достатній запас: фактична густина струму становить 1,65 А/мм², а відносне падіння напруги — приблизно 1,36 %, що не перевищує допустиме значення 5 %.

Також виконано моделювання електропривода головної кліті в середовищі Matlab. Отримані графіки зміни швидкості, струму та електромагнітного моменту показали, що модернізований електропривод забезпечує плавний вихід на номінальну швидкість, контрольований характер зміни струму та поступове наростання електромагнітного моменту. Це підтверджує доцільність застосування частотно-регульованого електропривода для головної кліті дрогового стану.

Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження сучасного електропривода дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування, підвищити надійність роботи обладнання, скоротити аварійні простої та покращити керованість технологічного процесу. Незважаючи на початкові витрати на придбання перетворювача частоти, асинхронного двигуна, датчиків, кабельної продукції та комутаційного обладнання, модернізація є доцільною, а орієнтовний термін окупності становить близько 2,9 року.

Таким чином, у кваліфікаційній роботі виконано аналіз існуючої системи електропостачання ДС-150, обґрунтовано вибір електропривода головної кліті як розрахункового модуля, проведено розрахунок електричних навантажень і струмів короткого замикання, вибрано основне силове та вимірювальне обладнання, кабельну лінію, виконано моделювання електропривода та наведено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Запропоноване рішення дозволяє підвищити надійність, безпеку, енергоефективність і керованість електропривода головної прокатної кліті СПЦ-1 ДС-150.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Технічна документація та паспортні дані електрообладнання дротового стану ДС-150 СПЦ-1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

[2] ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності.

[3] Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання: монографія. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 149 с.

[4] Правила улаштування електроустановок. Затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 476 від 21.07.2017.

[5] Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України № 258 від 25.07.2006.

[6] Шкрабець Ф. П. Електропостачання: навчальний посібник. Дніпро: НГУ, 2015. 540 с.

[7] Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Київ: Каравела, 2018. 272 с.

[8] Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю., Войтюк Д. Г. Електропривод: підручник / за ред. Ю. М. Лавріненка. Київ: Ліра-К, 2009. 504 с.

[9] Воскобойник В. Е. Основи електропривода виробничих машин та комплексів: навчальний посібник. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021.

[10] Голодний І. М. Регульований електропривод: підручник. Київ: ЦП

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.Л		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел		
Розробив		Терещук М.В.					
Перевірів		Дозсренко О.В.					
Н. Контр.		Дозсренко О.В.					
Затвердж.		Пересунько І.І.					
					Літ.	Арк.	Акрушіє
						54	2
					КНУ гр. ЕЕМ-23ск		

«Компринт», 2015. 509 с.

[11] Возняк О. М., Штуць А. А., Колісник М. А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 280 с.

[12] Теряєв В. І. Автоматизований електропривод. Частина 2: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 204 с.

[13] ABB. Technical Guide No. 4. Guide to variable speed drives. URL: https://library.e.abb.com/public/a209d9dc29b24b789e0650b8de9c3f22/TechnicalGuideBook_EN_3AFE64514482_RevI.pdf.

[14] ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електричне устаткування машин. Частина 1. Загальні вимоги.

[15] ДСТУ EN 61800-5-1:2017. Системи силового електропривода з регульованою швидкістю. Частина 5-1. Вимоги щодо безпеки. Електричні, теплові та енергетичні вимоги.

[16] ДСТУ EN 61800-3:2017. Системи силового електропривода з регульованою швидкістю. Частина 3. Вимоги до електромагнітної сумісності та спеціальні методи випробування.

[17] Schneider Electric. Altivar Process ATV900. Variable speed drives. Technical catalogue and installation documentation. URL: <https://www.se.com/us/en/download/document/DIA2ED2150601EN/>.

[18] Schneider Electric. MasterPact MTZ. Low-voltage power circuit breakers. Technical catalogue. URL: https://www.se.com/my/en/download/document/LVPED216026EN_WEB/.

[19] Baumer. HOG 10 HeavyDuty incremental encoder. Technical data sheet. URL: https://media.baumer.com/Baumer_HOG10-DN-1024-I-LR-16H7-%2B-ESL93_EN_20230816_DS.pdf.

[20] Плешков С. П., Серебренніков С. В. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: навчальний посібник. Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. 161 с.

					КНУ.РБ.141.26.250с-21.Л	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54