

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Електропривод механізму завантаження доменної печі за системою
«тиристорний перетворювач – двигун постійного струму»**

Виконав: студент групи ЕЕМ-21-2

Вадим ПАНОВ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

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

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

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ПАНОВ Вадим Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Електропривод механізму завантаження доменної печі за
системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму»

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація
електромеханічної системи завантаження доменної печі. Завданням є
розрахунок характеристик та дослідження роботи автоматизованого
електроприводу за системою «тиристорний перетворювач – двигун
постійного струму».
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Характеристика механізму завантаження доменної печі; II. Вибір силового
обладнання електроприводу механізму завантаження доменної печі; III.
Розробка системи керування електроприводом механізму завантаження
доменної печі.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. МЕХАНІЗМ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ; II.
КІНЕМАТИЧНА СХЕМА СКИПОВОЇ ЛЕБІДКИ; III. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА
ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПІДЛЕГЛИМ РЕГУЛЮВАННЯМ
СТРУМУ І ШВИДКОСТІ; IV. СТРУКТУРНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА; V.
ГРАФІКИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ; VI. ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ
ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Юрій ОСАДЧУК		
II	Юрій ОСАДЧУК		
III	Юрій ОСАДЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Загальні відомості про механізм	15.05.25
2	Вимоги до електроприводу	19.05.25
3	Система електроприводу	24.05.25
4	Вибір силового обладнання	26.05.25
5	Структурна схема електроприводу	31.05.25
6	Вибір структури системи керування	04.05.25
7	Вибір структури та параметрів регуляторів	10.06.25
8	Дослідження динамічних режимів	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Вадим ПАНОВ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ОСАДЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Електропривод механізму завантаження доменної печі за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму»

44 с., 15 рис., 11 літературних джерел

У першому розділі було розглянуто технологію завантаження доменної печі. Було отримано основні відомості про промислову скіпову підйомну установку. Також було відзначено що для підвищення економічних показників роботи доменної печі важливим є дотриманням постійної швидкості її завантаження. Було розглянуто спосіб завантаження доменної печі завдяки використуванню похилої скіпової підйомної установки. Було складено кінематичну схему механізму завантаження доменної печі та отримано статичні характеристики системи електроприводу. Виходячи із статичних навантажень було складено вимоги до системи електроприводу механізму завантаження доменної печі. Було відзначено що за технологічним процесом доменного виробництва є неможливим затримка у завантаженні сипучих матеріалів до доменної печі. Також було визначено діапазон регулювання швидкості руху механізму завантаження доменної печі. Виходячи з вимог до електроприводу механізму завантаження доменної печі було визначено ряд електричних машин які можуть задовольнити цим вимогам. Також опираючись на обрану електричну машину було визначено системи електроприводу які можуть забезпечити сталий рух механізму завантаження доменної печі при збереженні сталого значення статичного навантаження.

У другому розділі було обрано електромеханічне обладнання механізму завантаження доменної печі. Опираючись на розраховані значення

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

статичних навантажень було складено схему заміщення та отримані механічні характеристики електроприводу. Також було складено тахограму руху скіпової підйомної установки. Слід зазначити що на тахограмі руху скіпової підйомної установки інтервали часу руху з постійною швидкістю чергуються з ділянками гальмування та прискорення скіпів. Виходячи з типової тахограми руху та моментів навантаження на кожній з ділянок було визначено потужність електричного двигуна електроприводу механізму завантаження доменної печі. Для регулювання параметрів електроприводу механізму завантаження доменної печі було обрано тиристорний перетворювач який забезпечує роботу електроприводу завантаження доменної печі у широкому діапазоні. Також були розраховані та обрані елементи захисту тиристорного електроприводу механізму завантаження доменної печі. Була розроблена та складена принципова електрична схема системи електроприводу механізму завантаження доменної печі. Принципова схема містить цифрові та аналогові елементи керування електроприводом завантаження доменної печі. Також було проведено математичний опис розробленої системи керування електроприводом завантаження доменної печі. Відповідно до структури принципової схеми електроприводу завантаження доменної печі було отримано енергетичні характеристики режимів роботи скіпової підйомної установки. Відповідно до отриманих характеристик було проведено аналіз ефективності використання системи керування електроприводом завантаження доменної печі.

У третьому розділі було досліджено систему керування електроприводом завантаження доменної печі. Була розглянута можливість регулювання частоти обертання електричного двигуна що приводить у рух похилу скіпову підйомну установку. Було зазначено що важливим є можливість забезпечення сталої швидкості підйому скіпів. Також важливим для унеможливлення виникнення аварійних ситуацій є пуск та робота електроприводу завантаження доменної печі зі сталим прискоренням. Були

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розраховані параметри системи керування тиристорним перетворювачем які забезпечують можливість регулювання частоти обертання електричного двигуна який приводить до руху скіпову підйомну установку у широкому діапазоні та при сталому кутовому прискоренні. Було розглянуто декілька варіантів виконання принципової схеми системи керування. Як найбільш ефективна система була представлена система керування з підлеглим регулюванням координат електроприводу механізму завантаження доменної печі. Були визначені регульовальні властивості системи електроприводу та обрані контури регулювання. Також були розраховані параметри регуляторів обраних величин системи електроприводу завантаження доменної печі. Відповідно до розробленої схеми системи регулювання параметрів електроприводу механізму завантаження доменної печі було складено математичні рівняння та досліджено графіки перехідних процесів у динамічних режимах роботи скіпової підйомної установки. Було відзначено що сигнали керування отримуються відповідно до графіків зміни швидкості руху скіпів механізму завантаження доменної печі. Таким чином реалізується закон зміни параметрів електроприводу скіпової підйомної установки у динамічних режимах роботи. Показники якості регулювання електроприводу механізму завантаження доменної печі залишаються доволі високі у всьому діапазоні зміни параметрів. Таким чином запропонована система регульованого електроприводу механізму завантаження доменної печі є надійною та забезпечує належні показники якості регулювання параметрів технологічної установки.

ДОМЕННА ПІЧ, МЕХАНІЗМ ЗАВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД,
ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Характеристика механізму завантаження доменної печі	11
1.1. Загальні відомості про механізм завантаження доменної печі	11
1.2. Вимоги до електроприводу механізму завантаження доменної печі ...	17
1.3. Система електроприводу механізму завантаження доменної печі	18
Розділ 2. Вибір обладнання електроприводу механізму завантаження доменної печі	19
2.1. Вибір силового обладнання електроприводу механізму завантаження доменної печі	19
2.2. Структурна схема електроприводу механізму завантаження доменної печі.....	27
Розділ 3. Розробка системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі.....	28
3.1. Вибір структури системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі.....	28
3.2. Вибір структури та параметрів регуляторів системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі	30
3.3. Дослідження динамічних режимів роботи системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі	34
Висновки	39
Список використаних джерел	43

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Електромеханічні системи є важливими чинниками які забезпечують виконання виробничого процесу. Новітні досягнення науки та техніки, особливо у сфері напівпровідникової електроніки розширює межі застосування електромеханічних систем. З'являються нові форми та структури виконання систем керування та елементів силової електроніки.

Сучасні системи керування електромеханічними системами оснащені новітніми розробками у сфері застосування методів керування та при використанні елементів обчислювальної техніки. Подібні розробки дозволяють розширити сферу застосування електромеханічних систем для виконання більшого спектру технологічних завдань та розширенню меж виробничої діяльності. Такі системи дозволяють перейти до повної автоматизації виробничого процесу, що у свою чергу позитивно відбивається на роботі технологічного обладнання.

Завдяки впровадженню новітніх розробок та методів керування електромеханічними системами з'являється можливість виконувати більш складні технологічні операції.

Також слід зазначити що автоматизація технологічного процесу дозволяє більш ефективно використовувати електромеханічне обладнання та погоджувати його роботу з іншими об'єктами технологічної лінії.

Важливим досягненням науки та техніки є можливість використовувати новітні підходи, щодо створення енергоефективних систем керування електромеханічним обладнанням. Особливо це стосується енергоємних технологічних об'єктів до яких відноситься доменне виробництво.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна лінія доменної печі має велику енергоємність та використовує різні природні ресурси. Електрична енергія у процесі доменного виробництва використовується електричними двигунами, які приводять у рух різні складові елементи технологічної лінії. Такі елементи, зазвичай, використовуються для транспортування різноманітної продукції, яка використовується для забезпечення функціонування доменної печі.

У якості транспортних елементів частіше за все використовуються конвеєрні лінії. Продуктивність конвеєрних ліній обмежується їх пропускною здатністю, тому важливим, для забезпечення ефективності процесу транспортування, є постійне дотримання номінальних параметрів конвеєрної установки.

При необхідності збільшення продуктивності конвеєрної установки використовують різноманітні підходи щодо її модернізації. Так можна зазначити, що при заміні електричного двигуна, який встановлено у якості приводного, на електричний двигун з більшою частотою обертанням, можна забезпечити зростання продуктивності конвеєрної установки.

Слід зазначити що доменне виробництво - це складна й безперервна технологічна лінія, при роботі якої спостерігається зміна у об'ємах виплавленого чавуну. Тому окрім збільшення продуктивності об'єктів транспортування у доменному виробництві слід також забезпечити можливість регулювання продуктивності конвеєрних ліній.

Найбільш ефективним способом забезпечити можливість регулювання продуктивності конвеєрної лінії є встановленням систем регульованого електроприводу, які будуть забезпечувати зміну швидкості руху конвеєрної стрічки.

Отже система завантаження доменної печі є важливим об'єктом технологічного процесу доменного виробництва, а модернізація електромеханічного обладнання технологічної ланки завантаження доменної

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

печі є першочерговим завданням для забезпечення безперервної та надійної роботи обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Характеристика механізму завантаження доменної печі

1.1. Загальні відомості про механізм завантаження доменної печі

Доменне виробництво - це складний процес у якому взаємопов'язані та знаходяться у постійній взаємодії різні технологічні об'єкти.

Для забезпечення заданих показників щодо виплавки чавуну та дотримання технології виробництва, технологічна лінія доменної печі підлягає процесу автоматизації.

Такий підхід дозволяє забезпечити належні показники якості виплавленого чавуну.

Для забезпечення режиму роботи доменної печі важливим є своєчасне завантаження у неї сирих матеріалів. Завантаження сирих матеріалів у доменну піч виконується за допомогою похилого скіпового підйомника. Це конвеєрна лінія великої протяжності яка забезпечує завантаження сирих матеріалів у доменну піч.

Приведення до руху скіпового підйомника виконується завдяки встановленим у його конструкції скіповим лебідкам. Приведення до руху скіпових лебідок виконується завдяки встановленим електричним двигунам. Електричні двигуни забезпечують безперебійність роботи скіпової підйомної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Панов В.Д.				Розділ 1				Лім.	Лист	Листів	
Перевірів	Осадчук Ю.Г.										11	8
Реценз.									КНУ ЕЕМ-21-2			
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.											
Затвердив	Пересунько І.І.											

Таблиця 1.1- Характеристика механізму завантаження доменної печі

№ п/п	Найменування	Параметр	
1	Тип скіпової лебідки		ЛС-29-П
2	Точність зупинки барабана лебідки	мм	±25
3	Швидкість руху каната	м/с	3,5
4	Діаметр барабана	м	2
5	Загальне передаточне число редуктора		26
6	Корисний об'єм скіпа	м ³	13,5
7	Вага порожнього скіпа	т	16 9
8	Підйомна маса одного скіпа	т	'
9	Кут нахилу моста в скіповій ямі		30
10	Кут нахилу моста в середній частині		60°
11	Діаметр каната	мм	50°8'
12	Вага погонного метра каната	кг	47,5
13	ККД двохступінчатої зубчатої передачі		17,5
14	Число двигунів		0,8
15	Повна довжина шляху, проходить скіп	м	2
16	Продуктивність скіпової підйомної установки:		85,2
	За нормальних умов за годину	завантаж.	
	За прискорюваного дозавантаження за годину		

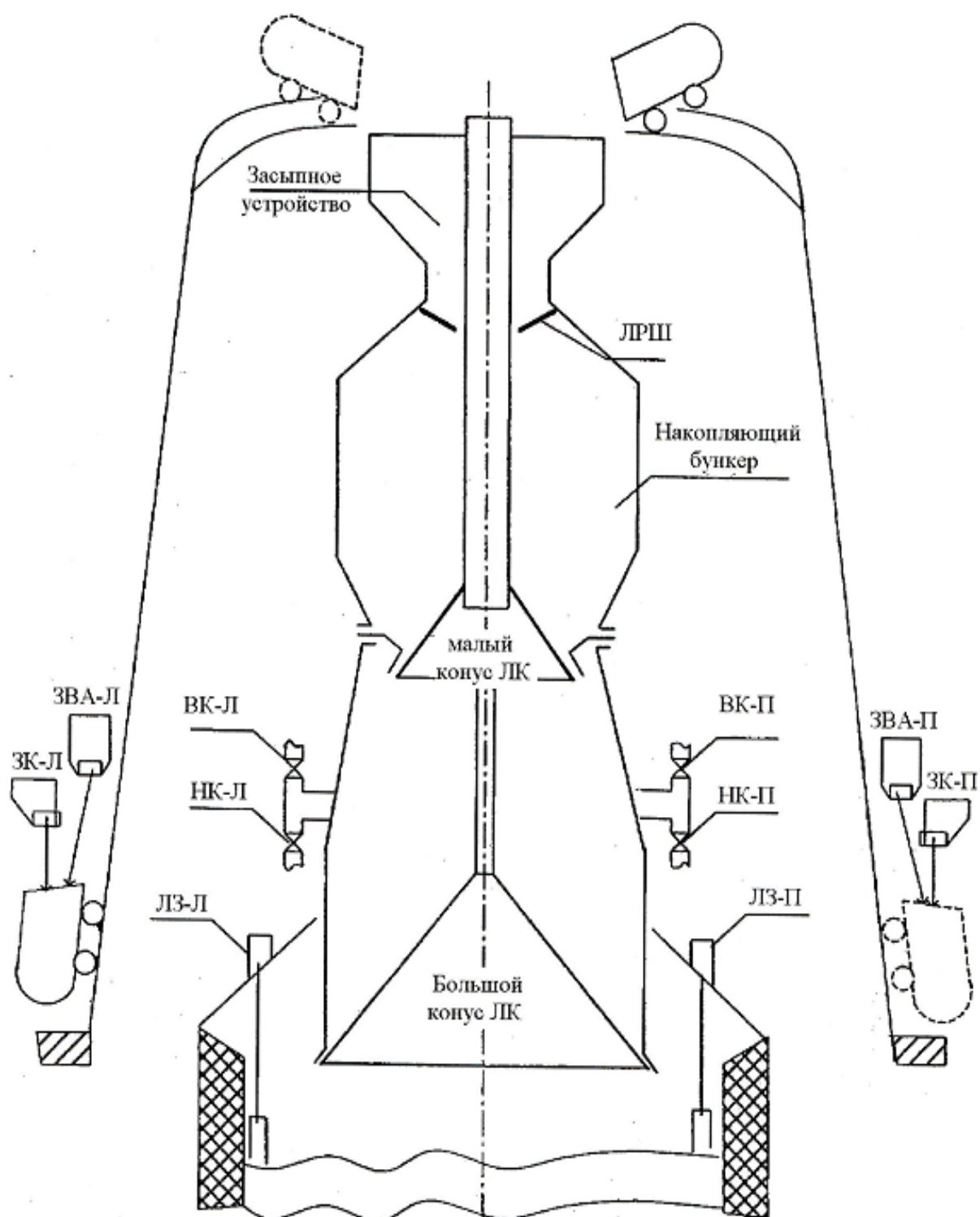


Рисунок 1.1 - Механізм завантаження доменної печі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10

Арк.

13

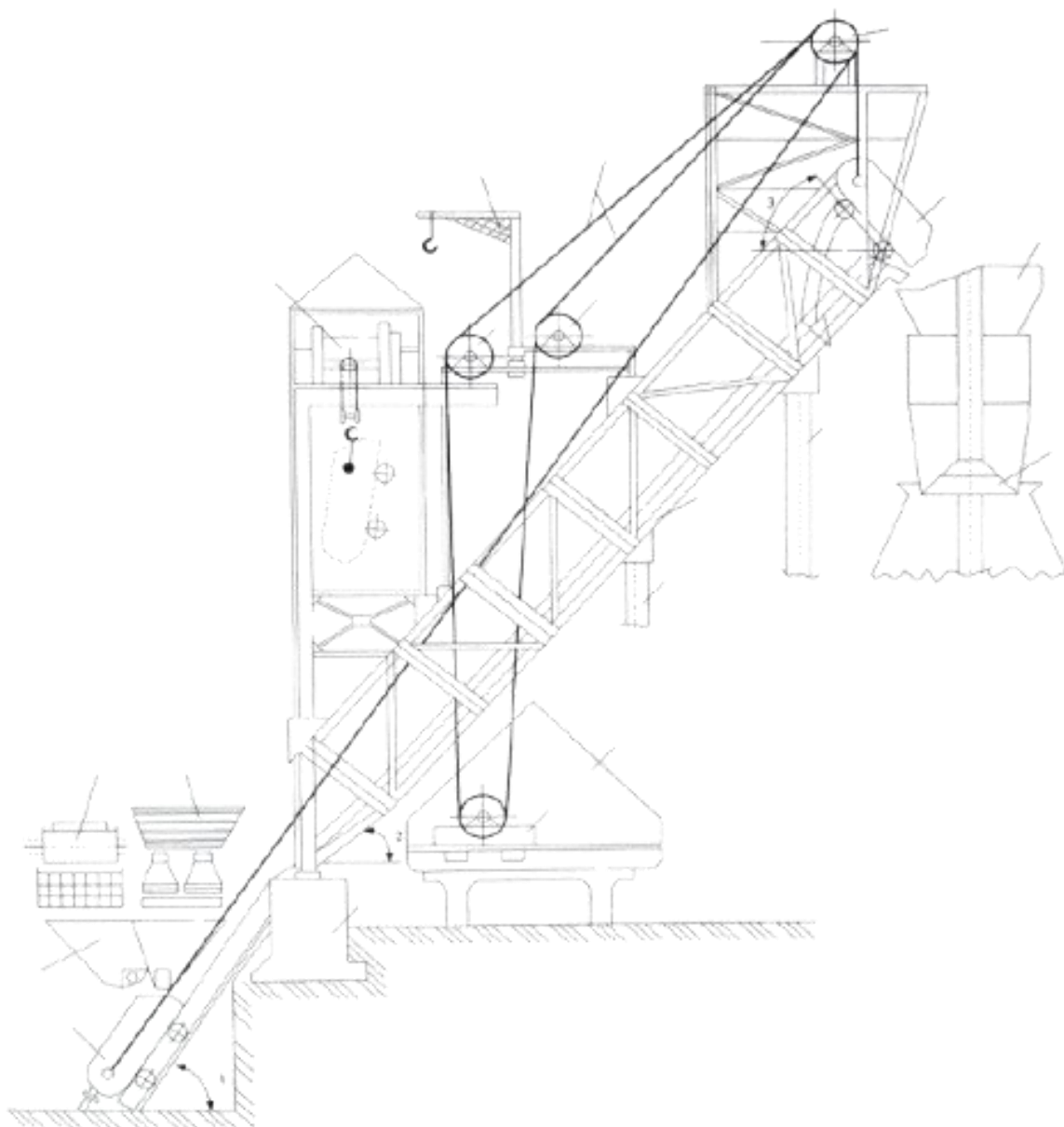


Рисунок 1.2 – Структурна схема механізму завантаження доменної печі

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

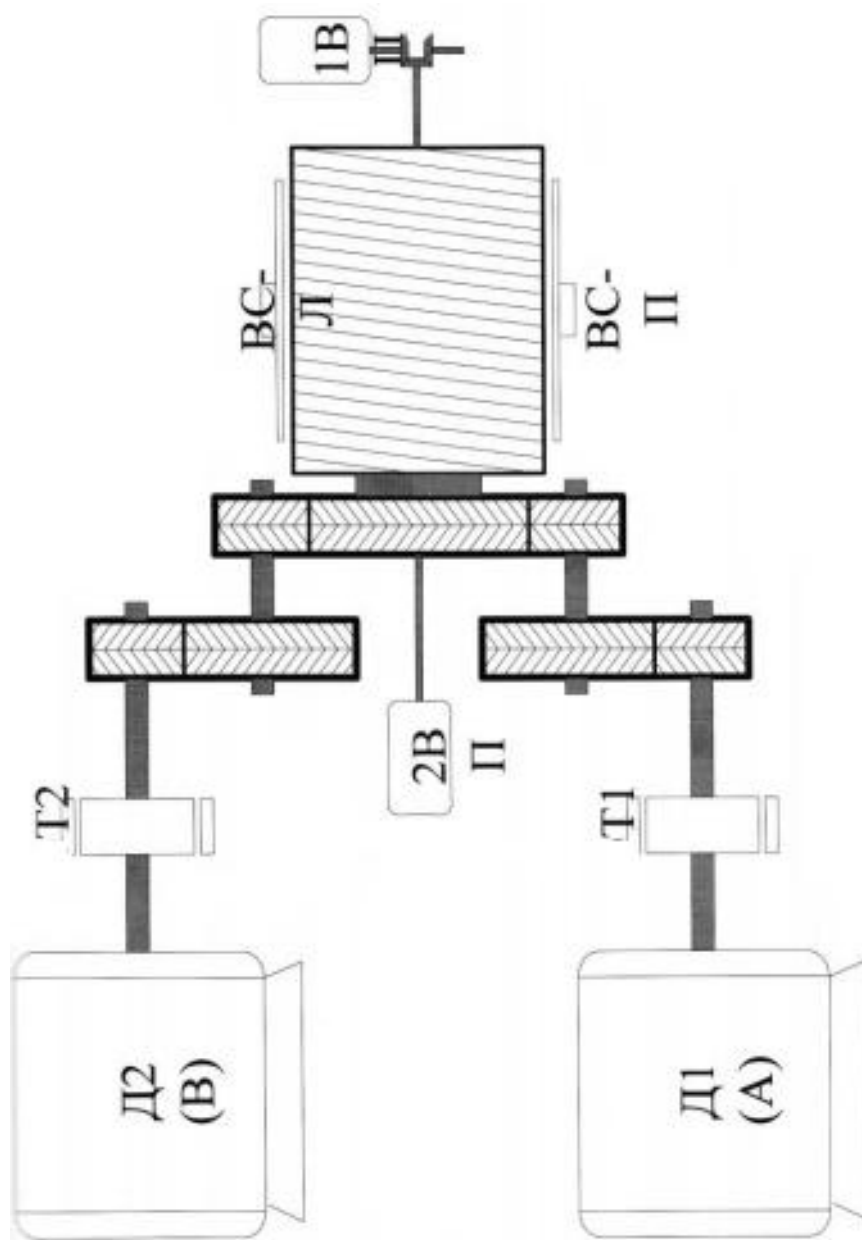


Рисунок 1.3 – Кінематична схема механізму завантаження доменної печі

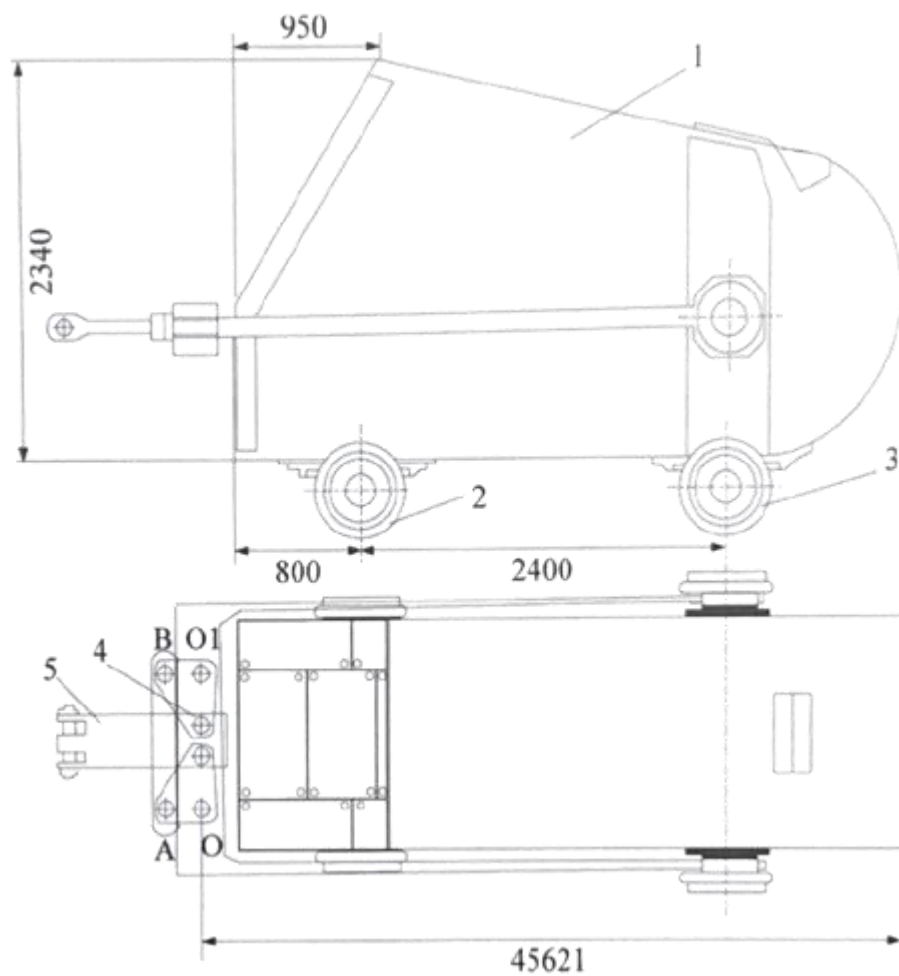


Рисунок 1.4 – Структура скіпа механізму завантаження доменної печі

1.2. Вимоги до електроприводу механізму завантаження доменної печі

До приводу механізмів обслуговуючих доменний процес пред'являється цілий ряд вимог, основними з яких є надійність і безперебійність роботи, а також можливість повної автоматизації процесу завантаження доменної печі.

Затримка у завантаженні матеріалів, навіть на короткий час, тягне за собою переведення печі на тихий хід чи навіть повну її зупинку. Тому для основних механізмів, що забезпечують доменний процес, передбачається резервування практично всіх елементів електрообладнання, а саме: електродвигунів, трансформаторів, дроселів, перетворювачів і т.п. З метою підвищення надійності в приводі лебідки скіпового підйомника використовується два двигуна.

Електропривод головного скіпового підйомника повинен забезпечувати регулювання швидкості в межах $[7,8 + 1]$; плавну зміну швидкості на початку і в кінці шляху скіпа; точну зупинку скіпа незалежно від маси завантаженого скіпа; а також безліч різних блокувань. Регулювання швидкості має здійснюватися при постійному моменті двигунів, тобто зміною підведеної до двигунів постійної напруги.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Система електроприводу механізму завантаження доменної печі

Розходження в режимах роботи підйомних пристроїв, рівні керованості, технологія роботи, потужність привода визначають застосування систем електропривода й дозволяють у конкретному випадку вибрати раціональний варіант.

Система електропривода має володіти широкими можливостями регулювання, так як швидкозмінні навантаження та момент інерції створюють проблеми у відпрацюванні заданої тахограми руху, стабілізації необхідних параметрів в усталених режимах роботи, що потребує використання електроприводів з високими динамічними властивостями.

Для сучасних приладів головних підйомів, що відрізняються великою вантажопідйомністю та швидкістю руху, застосовуються електроприводи з тиристорними перетворювачами для живлення двигуна постійного або змінного струму. Нині для таких підйомів найбільше поширення одержали електроприводи системи «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму».

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Вибір обладнання електроприводу механізму завантаження доменної печі

2.1. Вибір силового обладнання електроприводу механізму завантаження доменної печі

Робота скіпової підйомної установки характеризується циклічністю, поруч повторюваних циклів.

Щоб забезпечити задану продуктивність підйомної установки кожен цикл має вкластися в певний наперед заданий час.

Необхідно витримувати розрахункове значення прискорення, уповільнення і максимальної швидкості руху, тривалість паузи, тобто необхідно витримувати розрахункову діаграму швидкості.

Вимогам, що пред'являються до скіпової підйомної установки, цілком задовольняє тахограма руху, яка представлена на рис. 2.1.

Розрахуємо тахограму руху [3, 5, 11].

Інтервал часу $[0; t_1]$ - ділянка розгону з постійним прискоренням $a_{01} = [0,3 : 0,6 \text{ м/с}^2] = 0,4 \text{ м/с}^2$ до максимальної швидкості руху скипів - $u_{\text{макс}} = 3 \text{ м/с}$.

Час розгону t_{01} :

$$t_{01} = v_{\text{макс}} / a_{01} \quad (2.1.)$$

$$t_{01} = 3 / 0,4 = 7,5 \text{ с}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 2			Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Панов В.Д.									19	9
Перевірів	Осадчук Ю.Г.										
Реценз.								КНУ ЕЕМ-21-2			
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

Інтервал часу $[t_1; t_2]$ - ділянка руху з постійною швидкістю $v_{\text{макс}} = 3 \text{ м / с}$.

Інтервал часу $[t_2; t_3]$ - ділянка гальмування з швидкості $v_{\text{макс}} = 3 \text{ м / с}$ до швидкості втягування $v_{\text{дом}} = 0,5 \text{ м / с}$ з прискоренням $a_{23} = a_{01} = 0,4 \text{ м/с}^2$.

$$v_{\text{дом}} = v_{\text{макс}} - a_{23} t_{23} \quad (2.2)$$

$$0,5 = 3 - 0,4 \cdot t_{23}$$

$$t_{23} = 6,25 \text{ с.}$$

Інтервал часу $[t_3; t_4]$ - ділянка уповільнення до повної зупинки з прискоренням

$$a_{45} = 0,3 \text{ м/с}^2.$$

$$0 = v_{\text{дом}} - a_{45} t_{45} \quad (2.3)$$

$$0 = 0,5 - 0,3 \cdot t_{45}$$

$$t_{45} = 1,67 \text{ с.}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$v, \text{ м/с}$

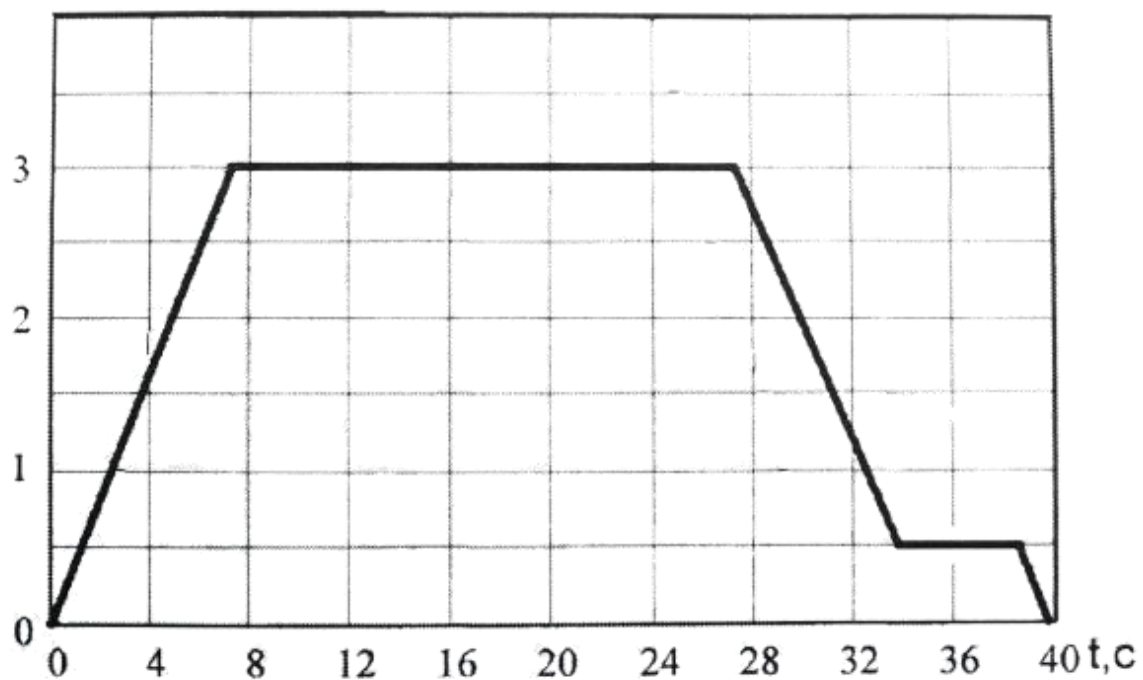


Рисунок 2.1 – Тахограма швидкості механізму завантаження доменної печі

На рис. 2.2. представлені діаграми розподілу сил для обох скипів механізму завантаження доменної печі.

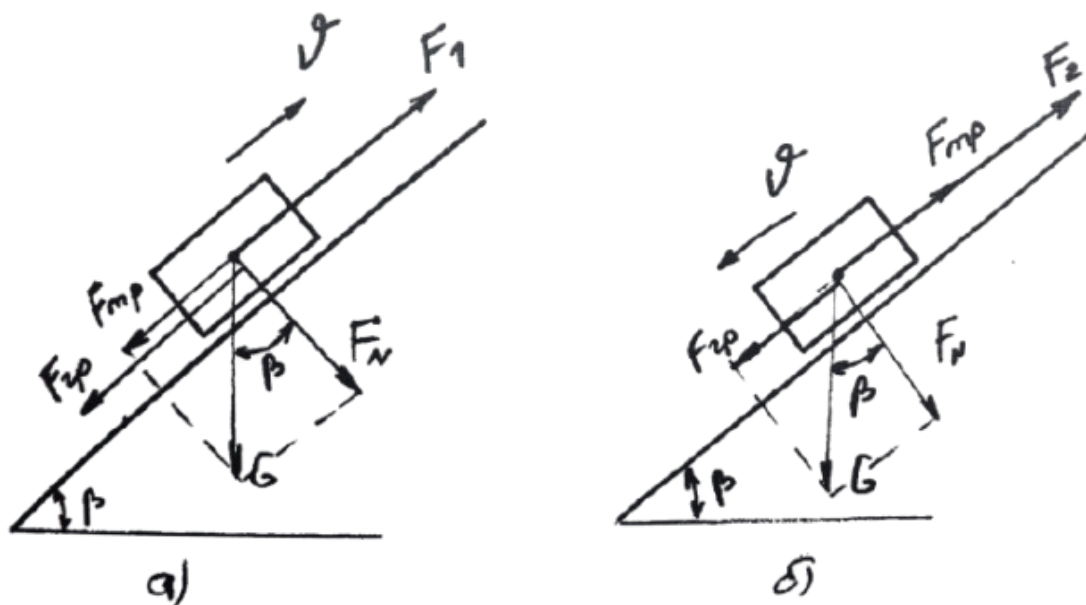


Рисунок 2.2 – Діаграми розподілу сил для піднімаючого (а) і опускаючого (б) скипів механізму завантаження доменної печі

Навантажувальна діаграма моментів механізму завантаження доменної печі представлена на рис. 2.3.

$M, \text{кНм}$

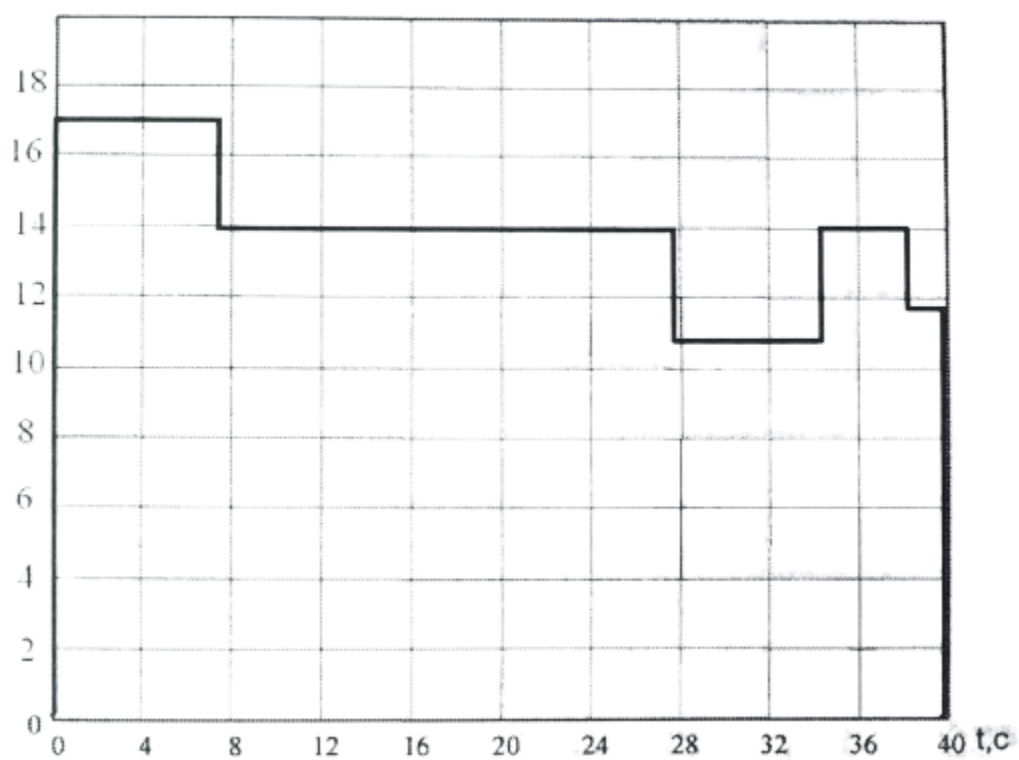


Рисунок 2.3 – Навантажувальна діаграма моментів механізму завантаження доменної печі

Таблиця 2.1. Параметри обладнання механізму завантаження доменної печі

Найменування	Одиниці виміру	Двохдвигунний режим	Однодвигунний режим
1	2	3	4
Потужність, Рн	кВт	550	710
Номінальна швидкість обертання пн, ($\omega_{пн} = \pi \cdot n_{пн} / 30$)	об/хв с-1	750 78,5	960 100,48
Номінальний момент, Мн	Н·м	7007	7007
Номінальний струм якоря, Ін	А	1600	1600
Число паралельних гілок обмотки якоря	Шт.	2а=6	2а=6
Число полюсів	Шт	2р=6	2р=6
Число витків обмотки якоря на полюс	Шт.	wЯ=27	wЯ=27
Число активних стержнів обмотки якоря $N=2 \cdot w_{я} \cdot 2p$	Шт.	N=324	N=324
Номінальна ЕДС двигуна $E_{дн}=U_{н}-R_{яд} \cdot I_{н}-U_{щ}$	В	Едн=363,72	Едн=463,72
Електромеханічна постійна		Ce=51,5924	Ce=51,5924

1	2	3	4
$C_e = D \cdot N/2 \cdot \pi \cdot a$			
Номинальний магнітний потік $\Phi_{дн} = E_{дн}/C \cdot \omega_n$	Вб	$\Phi_{дн}=0,089807$	$\Phi_{дн}=0,089452$
Конструктивна постійна машини $C_m = M_n / I_n \cdot \Phi_{дн}$		$C_m=49,168$	$C_m=49,168$
Номинальний струм збудження ω_n	А	$I_{вн}=12$	$I_{вн}=12$
Число витків обмотки збудження на полюс		$w_b=640$	$w_b=640$
Число паралельних гілок обмотки збудження		$a_b=1$	$a_b=1$
Момент інерції $J_{дв}$	кг·м ²	$J_{дв}=125$	$J_{дв}=125$
Максимальний момент при напрузі $M_{max1} = 2,5 \cdot M_n$ (2-х двиг. режим) $M_{max2} = 2 \cdot M_n$ (1-но двиг. режим)	Нм	$M_{max1}=17518$	$M_{max2}=14014$
Максимальний робочий струм (короткочасно) $I_{рmax1}=2,5 \cdot I_n$ (2-х двигат.режим) $I_{рmax2} = 2 \cdot I_n$ (1-но двигат.реж.)	А	$I_{рmax1}=4000$	$I_{рmax2}=3200$

1	2	3	4
Максимальний відключаючий струм $I_{відкл1} = 2,75 \cdot I_n$ (2-х дв. реж.) $I_{відкл2} = 2,2 \cdot I_n$ (1-но двиг. реж.)	A	$I_{відкл1} = 4400$	$I_{відкл2} = 3520$
Незалежне збудження	B	$U_{нв} = 220$	$U_{нв} = 220$

2.2. Структурна схема електроприводу механізму завантаження доменної печі

Склад електроприводу показаний на загальній функціональній схемі (рис.2.4.), де в більш детальному вигляді представлені функціональні можливості базових мікропроцесорних засобів управління - двозонний системи регулювання швидкості.

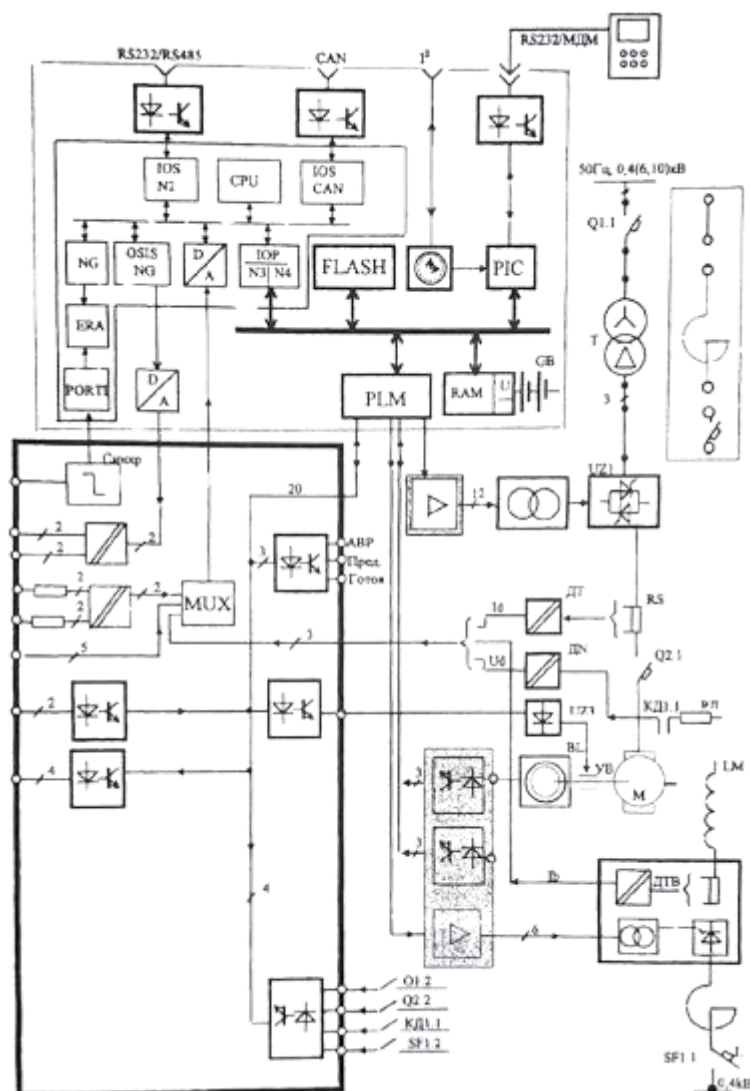


Рисунок 2.4-Структурна схема електропривода механізму завантаження доменної печі

Розділ 3. Розробка системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

3.1. Вибір структури системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

У більшості систем регульованого електроприводу потрібно регулювати кілька координат, при чому на різних етапах роботи основними регульованими елементами є різні координати.

Найбільш характерним прикладом може служити електропривод, який на одних етапах робочого процесу вимагає точного регулювання швидкості, а на інших - може включатися на упор і необхідне точне дозування розвивається моменту двигуна.

Майже у всіх електроприводах навіть при необхідному регулюванні однієї координати виникає необхідність обмеження інших координат і їх похідних, що визначає необхідність контролю та автоматичного регулювання, і цих змінних.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Панов В.Д.						28	9
Перевірив	Осадчук Ю.Г.							
Реценз.								
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.							
Затвердив	Пересунько І.І.				КНУ ЕЕМ-21-2			

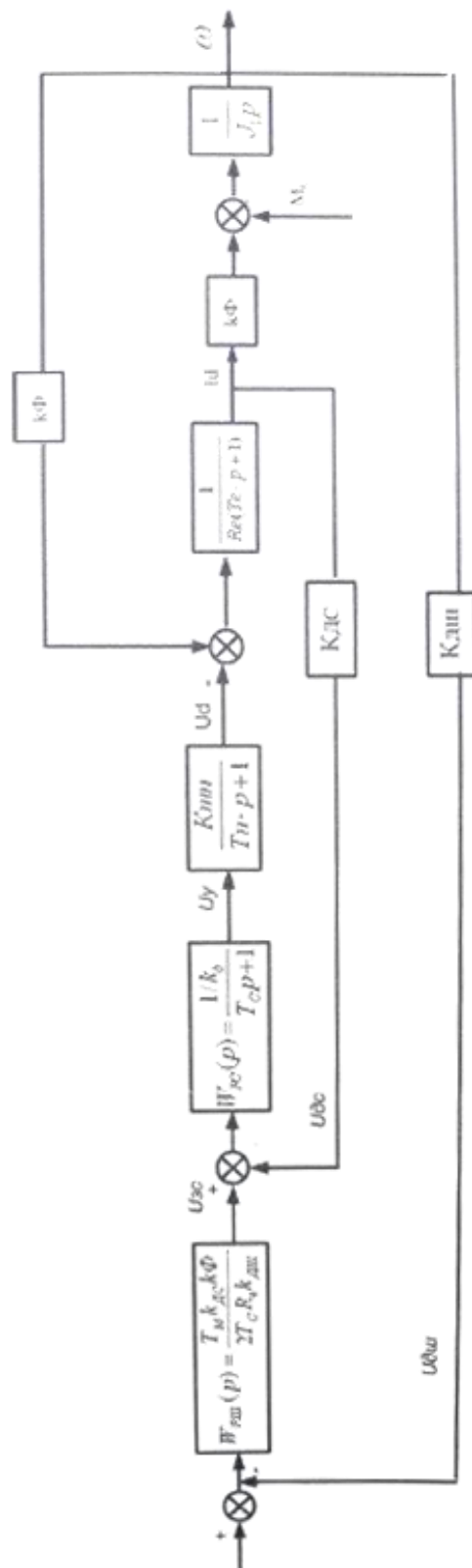


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

3.2. Вибір структури та параметрів регуляторів системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

Найбільшого поширення серед систем управління швидкістю двигуна постійного струму отримали системи, в яких швидкість регулюється зміною напруги на якорі двигуна за рахунок керованого електричного перетворювача (генератора, керованого тиристорного або транзисторного випрямляча, широтно-імпульсного перетворювача) при підпорядкованому контурі регулювання струму двигуна. На рис. 3.2 наведена функціональна схема електропривода з подібною системою регулювання. Двигун Д з незалежним збудженням (обмотка збудження ОЗД) отримує живлення від керованого перетворювача П - реверсивного тиристорного перетворювача з двома випрямними групами з зустрічно-паралельною схемою включення і з роздільним їх управлінням [5].

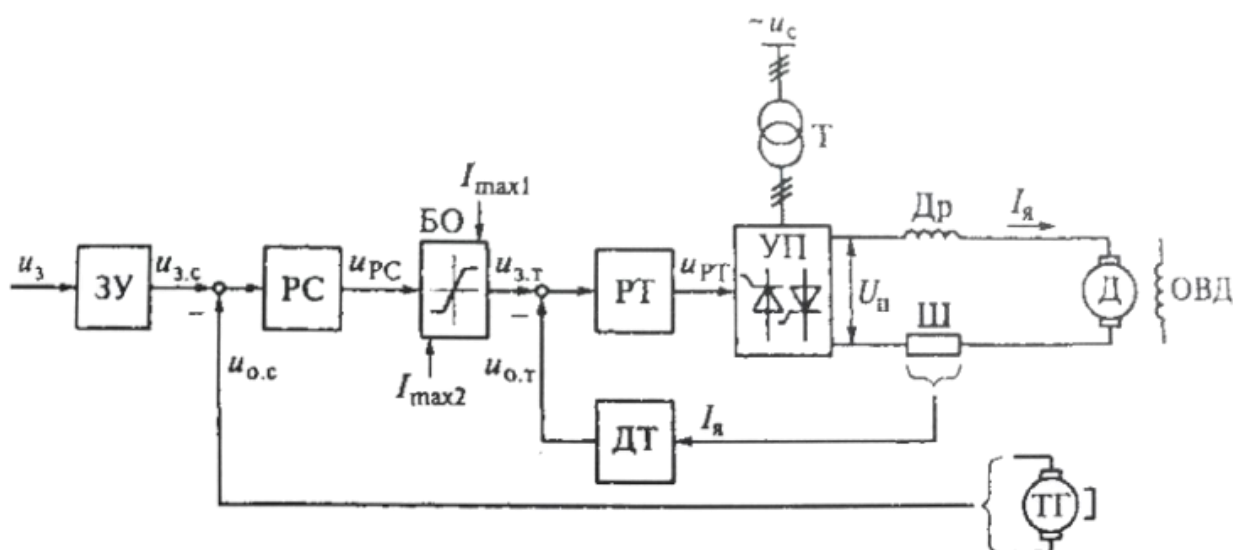


Рисунок 3.2 – Схема електрична функціональна електропривода з підлеглим регулюванням струму і швидкості

Структурна схема електропривода представлена на рис. 3.3. Вона відповідає наступним допущенням: регульовальна характеристика керованого перетворювача лінійна; струм якорного ланцюга двигуна безперервний; відсутня реакція якоря двигуна; момент інерції, приведений до валу двигуна, постійний інерційність датчиків струму і швидкості не враховується через її малість.

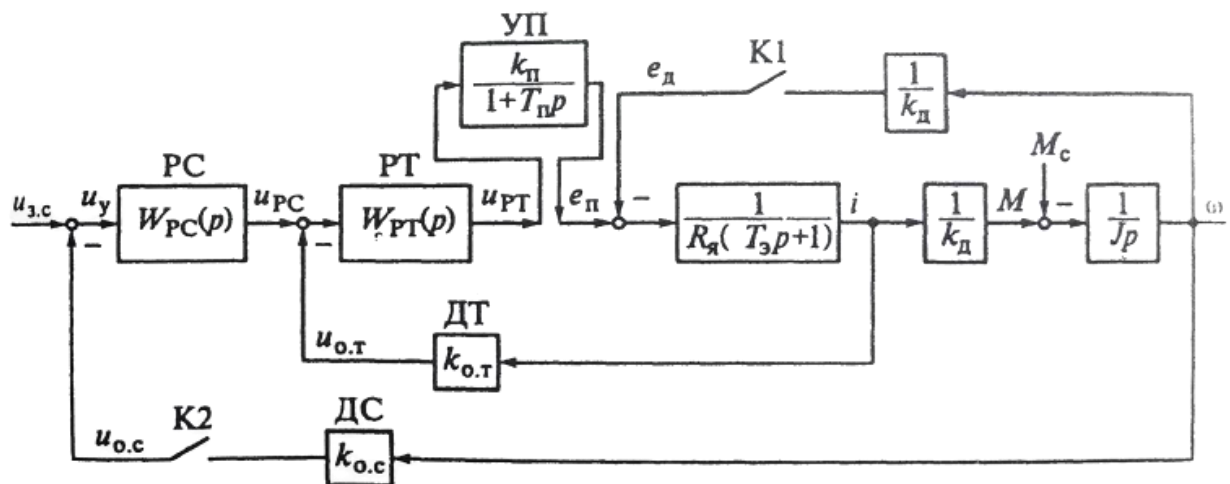


Рис. 3.3. – Схема електрична структурна електропривода з підлеглим регулюванням струму і швидкості

Розрахунок регулятора струму.

$$W_{\{31\}}(s) = \frac{\left\{ \frac{1}{0,003} \right\}}{\{0,028 + 1\}}$$

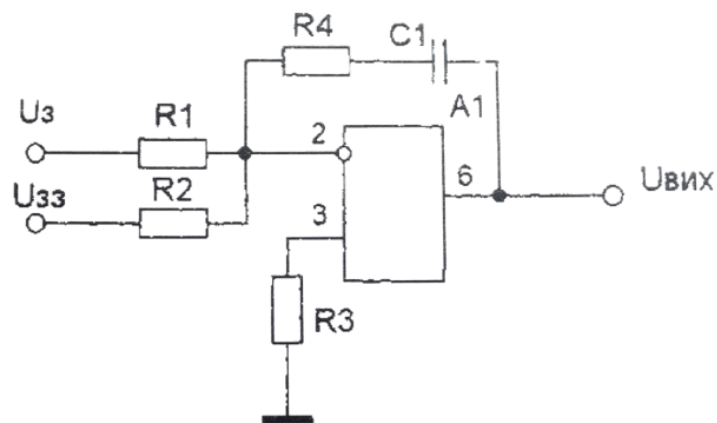


Рисунок 3.4 – Схема регулятора струму

Розрахунок регулятора швидкості.

$$W_{\partial\phi} = \frac{1 \cdot 0.003 \cdot 4.3}{\{2 \cdot 0.02 \cdot 0.068 \cdot 0.153\}} = 31.$$

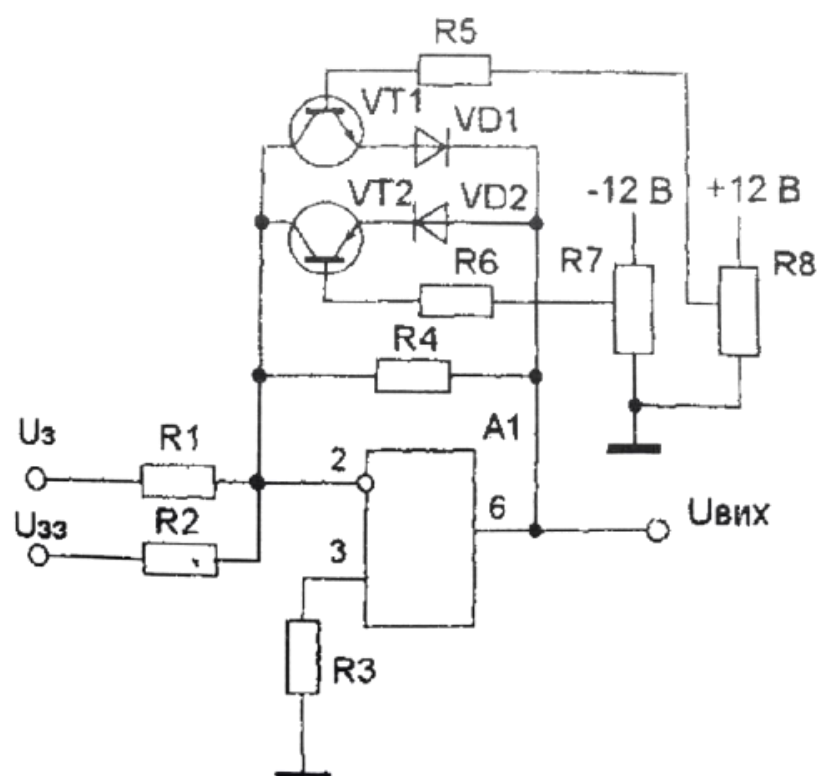


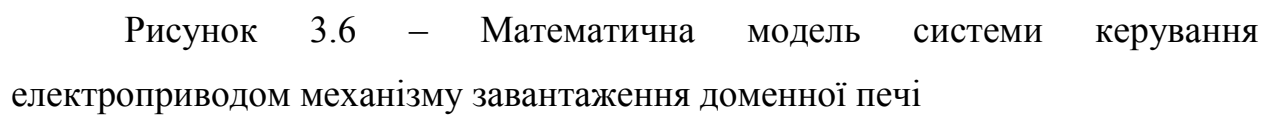
Рисунок 3.5 – Схема регулятора швидкості

3.3. Дослідження динамічних режимів роботи системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

На основі обраної системи (рис. 3.1) досліджуємо динамічні режими роботи системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі.

Моделювання процесів проводилось у середовищі Simulink пакету MATLAB. Математична модель системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі наведена на рис. 3.6.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Проводилось дослідження системи у процесі пуску в режимі холостого ходу та накидом навантаження. Результати моделювання, поведінка системи в таких режимах наведені на рис. 3.7.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

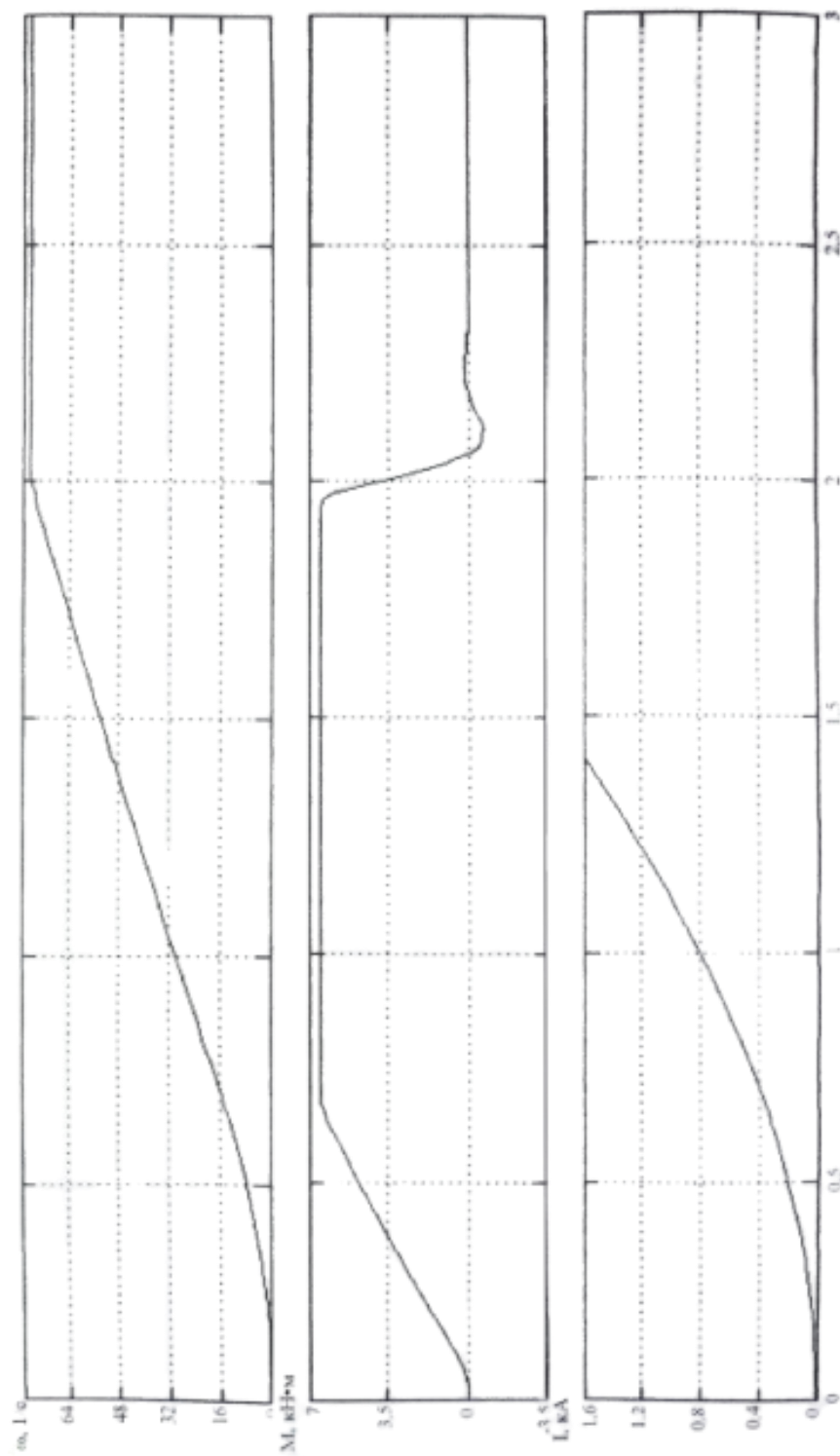


Рисунок 3.7 – Результати моделювання режимів роботи системи керування електроприводом механізму завантаження доменної печі

З отриманих осцилограм видно, що час перехідного процесу становить 2,5 с. Характер переходу системи з одного стану в інший близький до аперіодичного, про що також свідчить співвідношення постійних часу $T_{\{м\}}$ та $T_{\{е\}}$. Присутнє невелике перерегулювання $\delta \leq 1\%$.

Під час накиду навантаження час розгону становить 2,5 с та відбувається просадка швидкості:

$$x = 78 - 74/78 = 0,05 \text{ або } 5\%.$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Висновки

У першому розділі було розглянуто технологію завантаження доменної печі.

Було отримано основні відомості про промислову скіпову підйомну установку.

Також було відзначено що для підвищення економічних показників роботи доменної печі важливим є дотриманням постійної швидкості її завантаження.

Було розглянуто спосіб завантаження доменної печі завдяки використуванню похилої скіпової підйомної установки.

Було складено кінематичну схему механізму завантаження доменної печі та отримано статичні характеристики системи електроприводу.

Виходячи із статичних навантажень було складено вимоги до системи електроприводу механізму завантаження доменної печі.

Було відзначено що за технологічним процесом доменного виробництва є неможливим затримка у завантаженні сипучих матеріалів до доменної печі.

Також було визначено діапазон регулювання швидкості руху механізму завантаження доменної печі.

Виходячи з вимог до електроприводу механізму завантаження доменної печі було визначено ряд електричних машин які можуть задовольнити цим вимогам.

Також опираючись на обрану електричну машину було визначено системи електроприводу які можуть забезпечити сталий рух механізму

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завантаження доменної печі при збереженні сталого значення статичного навантаження.

У другому розділі було обрано електромеханічне обладнання механізму завантаження доменної печі.

Опираючись на розраховані значення статичних навантажень було складено схему заміщення та отримані механічні характеристики електроприводу.

Також було складено тахограму руху скіпової підйомної установки.

Слід зазначити що на тахограмі руху скіпової підйомної установки інтервали часу руху з постійною швидкістю чергуються з ділянками гальмуванням та прискорення скіпів.

Виходячи з типової тахограми руху та моментів навантаженням на кожній з ділянок було визначено потужність електричного двигуна електроприводу механізму завантаження доменної печі.

Для регулювання параметрів електроприводу механізму завантаження доменної печі було обрано тиристорний перетворювач який забезпечує роботу електроприводу завантаження доменної печі у широкому діапазоні.

Також були розраховані та обрані елементи захисту тиристорного електроприводу механізму завантаження доменної печі.

Була розроблена та складена принципова електрична схема системи електроприводу механізму завантаження доменної печі.

Принципова схема містить цифрові та аналогові елементи керування електроприводом завантаження доменної печі.

Також було проведено математичний опис розробленої системи керування електроприводом завантаження доменної печі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до структури принципової схеми електроприводу завантаження доменної печі було отримано енергетичні характеристики режимів роботи скіпової підйомної установки.

Відповідно до отриманих характеристик було проведено аналіз ефективності використання системи керування електроприводом завантаження доменної печі.

У третьому розділі було досліджено систему керування електроприводом завантаження доменної печі.

Була розглянута можливість регулювання частоти обертання електричного двигуна що приводить у рух похилу скіпову підйомну установку.

Було зазначено що важливим є можливість забезпечення сталої швидкості підйому скіпів.

Також важливим для унеможливлення виникнення аварійних ситуацій є пуск та робота електроприводу завантаження доменної печі зі сталим прискоренням.

Були розраховані параметри системи керування тиристорним перетворювачем які забезпечують можливість регулювання частоти обертання електричного двигуна який приводить до руху скіпову підйомну установку у широкому діапазоні та при сталому кутовому прискоренні.

Було розглянуто декілька варіантів виконання принципової схеми системи керування.

Як найбільш ефективна система була представлена система керування з підлеглим регулюванням координат електроприводу механізму завантаження доменної печі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Були визначені регульовальні властивості системи електроприводу та обрані контури регулювання.

Також були розраховані параметри регуляторів обраних величин системи електроприводу завантаження доменної печі.

Відповідно до розробленої схеми системи регулювання параметрів електроприводу механізму завантаження доменної печі було складено математичні рівняння та досліджено графіки перехідних процесів у динамічних режимах роботи скіпової підйомної установки.

Було відзначено що сигнали керування отримуються відповідно до графіків зміни швидкості руху скіпів механізму завантаження доменної печі.

Таким чином реалізується закон зміни параметрів електроприводу скіпової підйомної установки у динамічних режимах роботи.

Показники якості регулювання електроприводу механізму завантаження доменної печі залишаються доволі високі у всьому діапазоні зміни параметрів.

Таким чином запропонована система регульованого електроприводу механізму завантаження доменної печі є надійною та забезпечує належні показники якості регулювання параметрів технологічної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.:Кондор, 2005.
2. Електропривод: Навч. посіб. / О.М Закладний, В.В Прокопенко, О.О Закладний. –К.: Видавництво «Освіта України», 2009
3. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB. SimPowerSystems і Simulink / Чорних І.В. – М.:ДМК Прес, 2007
4. Matlab і Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК / Герман-Галкін С.Г. - СПб.: КОРОНА-Век, 2008
5. Стаціонарні машини: учбов.посібник / Дроздова Л.Г, 2007
6. Привод і автоматика шахтних підйомних машин / Живов Л.Г.- М: МШГИЗ, 1952
7. Електрообладнання шахтних підйомних машин / Калашников Ю.Т., Католиков В.Е., Шпільберг Г.И.- М: Недра , 1986
8. Шахтний підйом. Науково-виробниче видання / Бежок В.Р., Дворников В.І., Манець І.Г., Пристром В.А.; заг. ред. Б.А Грядущий, В.А. Корсун. – Донецьк: Південний схід ЛТД, 2007. – 624 с.
9. Ільїн С.Р. Механіка шахтного підйому: моногр. / С.Р. Ільїн, С.С. Ільїна, В.І. Самуся. – Д.: Національний гірничий університет, 2014. – 247 с.
- 10.Динаміка канатних та гідротранспортних підйомних комплексів гірничих підприємств: моногр. / В.І. Самуся, С.Р. Ільїн, В.Є. Кириченко, І.С. Ільїна. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 302 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

11. Основи електропривода виробничих машин та комплексів: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 7 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-10	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		