

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

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Пащенко Віталія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод скіпового підйомника доменної печі ПАТ «АрселорМіттал

Кривий Ріг»

(повна назва теми)

за матеріалами ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

доцент, к.т.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Рожненко Ж.Г.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 12.06.2026 № 384-ск

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____

Спеціальність _____ 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
- (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ Пащенко Віталія Олександровича _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод скіпового підйомника доменної печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

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

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

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

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 02.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

Об'єкт розробки – електропривод скіпового підйомника доменної печі № 7 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; тип лебідки – ЛС-29-11; кількість двигунів – 2; тип двигуна – ДП-74/34-6К; номінальна потужність – 550 кВт; номінальна напруга – 375 В; номінальний струм якоря – 1600 А; номінальна швидкість – 750 об/хв; швидкість руху скіпа – 3,5 м/с; об'єм скіпа – 12 м³; повна довжина шляху скіпа – 84 м; точність зупинки – ±100 мм; система керування – ТП-Д на базі SIEMENS SIMOREG DC-MASTER 6RA70

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

4.1 Аналітична частина: Технологічний процес шихтоподачі доменної печі № 7; скіповий підйомник як об'єкт управління; опис існуючої системи електропривода; вимоги до електропривода скіпового підйому; аналіз існуючих схем управління та постановка задачі. 4.2 Основна частина: Розрахунок потужності та вибір електродвигуна скіпової лебідки; розробка функціональної схеми; вибір силового перетворювача та системи керування; розрахунок

параметрів цифрової системи; побудова механічної характеристики; розрахунок коефіцієнтів настроювання регуляторів струму і швидкості; вибір мікропроцесорного обладнання; розробка принципової схеми; моделювання системи керування в Simulink; технологічна автоматика; вибір датчиків положення скіпів; алгоритм роботи системи управління; заходи з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 ВРБ.141.238-ст.14.Т1 - Технологічна схема шихтоподачі доменної печі;
 ВРБ.141.238-ст.14.К1 - Кінематична схема лебідки головного підйому;
 ВРБ.141.238-ст.14.Е2 - Схема електрична функціональна; ВРБ.141.238-ст.14.Е1.1 - Схема електрична структурна; ВРБ.141.238-ст.14.Е1.2 - Схема електрична структурна математичної моделі; ВРБ.141.238-ст.14.Е0.1 - Графіки перехідних процесів по струму; ВРБ.141.238-ст.14.Е0.2 - Графіки перехідних процесів по струму та швидкості; ВРБ.141.238-ст.14.Е3 - Схема електрична принципова; ВРБ.141.238-ст.14.Е0.3 - Алгоритм роботи

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

_____ (підпис)

Пащенко В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Рожненко Ж.Г.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.	
1	A3	ВРБ.141.238-см.14.Т1			Технологічна схема	1			
2					шихтоподачі доменної печі				
3	A3	ВРБ.141.238-см.14.К1			Кінематична схема лебідки	1			
4					головного підйому				
5	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е2			Схема електрична	1			
6					функціональна				
7	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е1.1			Схема електрична	1			
8					структурна				
9	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е1.2			Схема електрична	1			
10					структурна математичної моделі				
11	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е0.1			Графіки перехідних процесів	1			
12					по струму				
13	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е0.2			Графіки перехідних процесів	1			
14					по струму та швидкості				
15	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е3			Схема електрична	1			
16					принципова				
17	A3	ВРБ.141.238-см.14.Е0.3			Алгоритм роботи	1			
18									
19	A4	ВРБ.141.238-см.14.ПЗ			Пояснювальна записка	69			
20									
21									
22									
23									
					ВРБ.141.238-см.14.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод скіпового підйомника доменної печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» Відомість роботи	Літера		Аркуш	Аркушів
Розроб.		Пащенко В.О.						4	1
Пров.		Рожненко Ж.Г.							
Н.контр.		Рожненко Ж.Г.							
Затв.		Модло Є.О.				ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-23ск			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 69с., 22 рис., 10 табл., 28 джерел.

Об'єкт розробки - електропривод скіпового підйомника доменної печі № 7.

Мета розробки - розробка системи електропривода скіпового підйомника в умовах доменного цеху № 1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на основі тиристорного перетворювача та мікропроцесорної системи контролю положення скіпів.

Метод дослідження та апаратура - аналіз технологічного процесу шихтоподачі, формування вимог до приводу підйому, порівняльний аналіз схем управління, розрахунок параметрів цифрової системи керування, математичне моделювання в Simulink.

У роботі проаналізовано технологічний процес шихтоподачі та завантаження доменної печі № 7 як об'єкт управління. Визначено вимоги до електропривода головного підйому. Виконано порівняльний аналіз систем Г-Д та ТП-Д, обґрунтовано доцільність впровадження тиристорного перетворювача.

Виконано розрахунок потужності та вибір електродвигуна, розраховано параметри цифрової системи, побудовано механічну характеристику електропривода, визначено коефіцієнти налаштування регуляторів струму і швидкості. Проведено математичне моделювання системи керування.

Впровадження розробленої системи управління дозволяє підвищити точність зупинки скіпів, знизити динамічні навантаження на механізми лебідки та зменшити питоме енергоспоживання. Робота розглядається як технічне рішення для відновлення агрегату на сучасному рівні автоматизації.

Ключові слова: електропривод, завантаження, математичне моделювання, мікропроцесорна система, регулятор, скіповий підйомник, система управління ТП-Д, тиристорний перетворювач, шихтоподача.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Технологічний процес шихтоподачі доменної печі № 7.....	10
1.1.1 Шихтоподача	10
1.1.2 Верхнє завантаження	13
1.2 Скіповий підйомник як об'єкт управління	13
1.3 Опис системи електропривода скіпового підйому ДП № 7.....	16
1.3.1 Технічні дані електродвигуна	16
1.3.2 Кінематична схема лебідки	17
1.4 Вимоги до електропривода скіпового підйому	18
1.5 Аналіз існуючих схем управління та постановка задачі.....	19
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна привода скіпової лебідки	20
2.1.1 Дані для розрахунку.....	20
2.1.2 Розрахунок потужності електродвигуна.....	21
2.1.3 Розрахунок часу роботи й паузи в роботі привоу.....	22
2.1.4 Розрахунок потужності електродвигуна з урахуванням тривалості включення	24
2.1.5 Вибір електродвигуна скіпового підйому	25
2.1.6 Розрахунок сумарного моменту електродвигуна.....	26
2.1.7 Перевірочний розрахунок електродвигуна.....	27
2.1.8 Перевірка двигуна на перевантаження по втратах потужності.....	31
2.1.9 Розрахунок номінальної потужності з урахуванням температури навколишнього середовища	31

2.2 Розробка функціональної схеми	32
2.3 Вибір силового перетворювача.....	34
2.4 Вибір системи керування.....	35
2.5 Розрахунок параметрів цифрової системи.....	35
2.5.1 Побудова механічної характеристики електропривода	38
2.5.2 Розрахунок коефіцієнтів передачі цифрових перетворювачів інформації	40
2.6 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регуляторів	40
2.6.1 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регулятора струму.....	40
2.6.2 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регулятора швидкості	41
2.7 Вибір мікропроцесорного обладнання.....	43
2.8 Розробка принципової схеми	43
2.9 Моделювання системи керування електроприводом	45
2.10 Технологічна автоматика	49
2.10.1 Установка нових датчиків та принцип їх роботи	49
2.10.2 Вибір датчиків відстаней.....	51
2.11 Алгоритм роботи системи управління	52
2.12 Охорона праці	58
2.12.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	59
2.12.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів.....	60
2.12.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди	62
2.12.4 Пожежна безпека.....	63
2.12.5 Висновки з охорони праці	65
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Доменне виробництво займає ключове місце у чорній металургії: якість виплавленого чавуну безпосередньо визначає властивості сталі та кінцевої металопродукції. Підвищення вимог до якості продукції, зростання потужностей агрегатів та ужорсточення екологічних норм зумовлюють необхідність постійного вдосконалення засобів автоматизації.

Конкурентоспроможність металургійних підприємств у значній мірі визначається ефективністю технічних рішень з автоматизації та рівнем надійності систем керування. Досягнення цих цілей стає можливим завдяки впровадженню сучасних мікропроцесорних систем та цифрових перетворювачів.

Доменна піч № 7 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» обрана об'єктом проектування як типовий агрегат середньої потужності (2000 м³), що є репрезентативним прикладом для розробки системи електроприводу підйомного механізму. Робота розглядається в контексті технічного переоснащення агрегату на сучасному рівні автоматизації із застосуванням обладнання виробників країн ЄС та інших держав-партнерів України. Розробка систем відновлення та модернізації металургійних агрегатів є критично важливим завданням для повоєнної відбудови промисловості України [1].

На сучасному доменному агрегаті задіяно близько 400 електрифікованих механізмів; загальна встановлена потужність становить понад 24 000 кВт. Характерною особливістю поточного етапу розвитку галузі є масове застосування цифрових засобів керування на базі мікропроцесорних систем [2].

В роботі передбачається заміна морально застарілої системи живлення двигунів Г-Д головного підйому на тиристорний перетворювач системи ТП-Д на базі SIEMENS SIMOREG DC-MASTER 6RA70 (ФРН). Додатково впроваджується мікропроцесорна система автоматизованого контролю та корекції положення скіпів із застосуванням ультразвукових датчиків IFM Electronic (ФРН) та абсолютного енкодера Kübler (ФРН).

Мета роботи - розробка системи автоматизованого електропривода скіпового підйомника, що забезпечує підвищену точність позиціонування, зниження енергоспоживання та надійну роботу в умовах металургійного виробництва.

Об'єкт дослідження - електропривод скіпового підйомника доменної печі № 7.

Предмет дослідження - методи та технічні рішення для побудови системи цифрового керування електроприводом постійного струму підйомного механізму.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес шихтоподачі доменної печі № 7

Доменна піч № 7 металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має корисний об'єм 2000 м³. До складу виробничого комплексу ДП-7 входять такі технологічні ділянки: доменна піч, система верхнього завантаження, шихтоподача, ливарний двір, блок повітрянагрівачів, газоочищення.

1.1.1 Шихтоподача

Система шихтоподачі виконана за конвеєрною схемою з розміщенням бункерів по обидва боки похилого моста та забезпечує необхідний резерв шихтових матеріалів. Матеріали подаються у бункери естакади залізничними вагонами, що рухаються по шляху, прокладеному поверх естакади.

Відповідно до заданої програми завантаження шихтові матеріали надходять з видаткових бункерів у вагові вирви, а звідти - у скіпи головного підйому для завантаження доменної печі. Технологічну схему шихтоподачі наведено на рис. 1.1.

До складу системи шихтоподачі входять такі механізми: гуркіт коксу; гуркіт агломерату й окатишів; конвеєр агломерату й окатишів; розподільник агломерату; затвори ваг коксу й агломерату; конвеєр дріб'язку агломерату; підйомники дріб'язку коксу; живильники добавок; затвори ваг добавок.

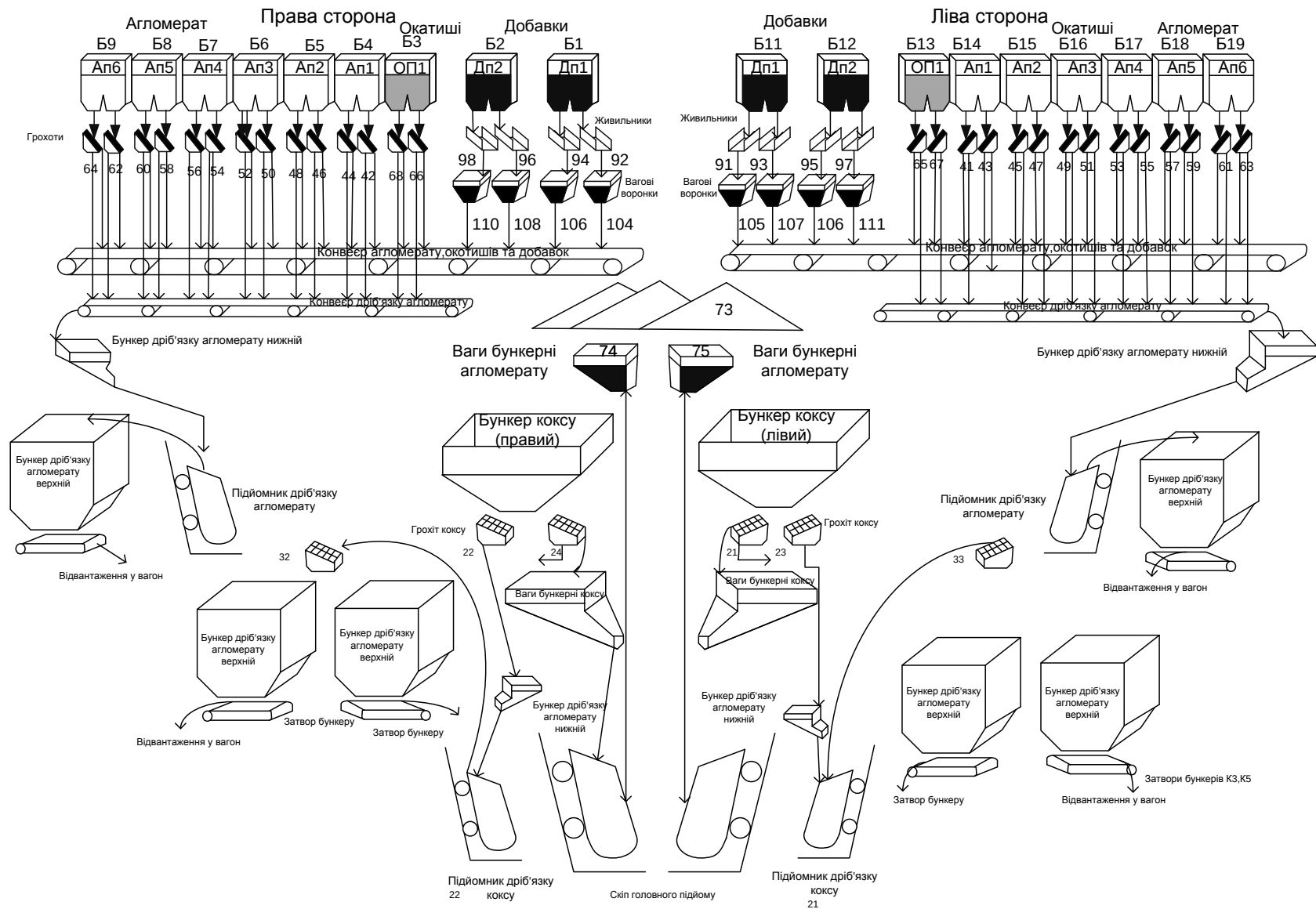


Рис. 1.1. Технологічна схема шихтоподачі доменної печі
(розроблено автором)

Механізми транспортної шихтоподачі поділяються на тракти подачі коксу, агломерату, добавок і збирання дріб'язку коксу та агломерату.

Завантаження (подача) коксу. З головного коксового бункера кокс самопливом надходить на колосники гуркоту. Вібраційні гуркоти слугують для відсівання дрібної фракції коксу перед її подачею у вагову вирву. Привод гуркоту коксу здійснюється від асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором потужністю 25 кВт. Затвор вагової вирви коксу призначено для вивантаження матеріалу з вирви в скіп, його привод виконаний від двигуна потужністю 2,8 кВт.

Підйомники дріб'язку коксу. До складу тракту входять два підйомники коксового дріб'язку для збирання відсіяної дрібниці. Коксовий дріб'язок накопичується в бункерах під гуркотами, звідки скіпами підйомників переміщується у верхні бункери і розсівається на дві фракції. Для приводів підйомників застосовуються електродвигуни постійного струму ABB DMI 180L (22 кВт, 220 В, 780 об/хв) [3], живлення яких здійснюється від комплектних тиристорних перетворювачів. Передбачено один резервний перетворювач.

Конвеєри агломерату й окатишів. Пластинчастий конвеєр призначений для транспортування агломерату й окатишів від бункерів до вагових вирв. Для приводів конвеєрів застосовуються електродвигуни постійного струму Siemens 1GF6 (180 кВт, 440 В, 1000 об/хв) [4]. Для двох конвеєрів передбачено один резервний тиристорний перетворювач.

Живильники добавок. Передбачено чотири бункери добавок по два з кожної сторони. Завантаження зважувальної вирви здійснюється живильником, що включає два електродвигуни WEG W22 (4 кВт, 380 В, 720 об/хв) [5]. Керування двома двигунами живильника здійснюється від перетворювача частоти Danfoss FC302 (380 В АС, 15 кВт, 33 А) [6].

1.1.2 Верхнє завантаження

Завантаження доменної печі здійснюється окремими подачами, тип яких характеризується кількістю і масою коксових та залізорудних скіпів, а також порядком їх набору на великий конус.

Лебідка конусів. Для керування конусами завантажувального пристрою застосовано комбіновану двобарабанну лебідку. Для її обертання використовується електродвигун постійного струму ABB DMI 250N (150 кВт, незалежного збудження) [3]. Зміна швидкості обертання відбувається за рахунок зміни напруги на обмотках генератора; програмою зміни швидкості управляє шляховий вимикач, з'єднаний з барабаном лебідки.

Пелюстковий розподільник шихти складається з восьми однотипних модулів, кожен з яких має окремий привод від асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором потужністю 3 кВт.

Зрівняльні клапани. Для вирівнювання тиску в міжконусному просторі доменна піч обладнана чотирма зрівняльними клапанами із приводами від асинхронних двигунів потужністю 7,5 кВт.

З розвитком доменного виробництва найбільш досконалим рішенням для подачі матеріалів на колошник виявився похилий двоскіповий підйомник урівноваженого типу, яким оснащені сучасні доменні печі [7].

1.2 Скіповий підйомник як об'єкт управління

Похилий двоскіповий підйомник урівноваженого типу призначений для подачі матеріалів на колошник і завантаження їх у доменну піч. Для скіпового підйомника застосовано двомоторну скіпову лебідку ЛС-29-11. Режим роботи - повторно-короткочасний. Основні елементи підйомника (рис. 1.2): похилий міст 4, скіп 3 і лебідка 1, встановлена в машинному приміщенні.

По нижньому поясі ґратчастих мостів прокладено два паралельних шляхи, які в нижній частині опускаються в скіпову яму для завантаження

скіпів. Кут нахилу шляху в скіповій ямі становить $58-61^\circ$. У верхній частині моста рейкові шляхи переходять у розвантажувальні криві.

Розвантажувальні криві (рис. 1.3) складаються з двох ділянок - верхньої та нижньої. Нижня крива є продовженням колії моста й виконана у вигляді дуги. При проходженні скіпа через розвантажувальні криві передні колеса переміщуються по нижній кривій, задні - по верхній, що спричиняє нахил скіпа і розвантаження матеріалу у вирву засипного пристрою. Кут нахилу днища скіпа до горизонту у верхньому положенні становить 55° , максимальне значення - 60° .

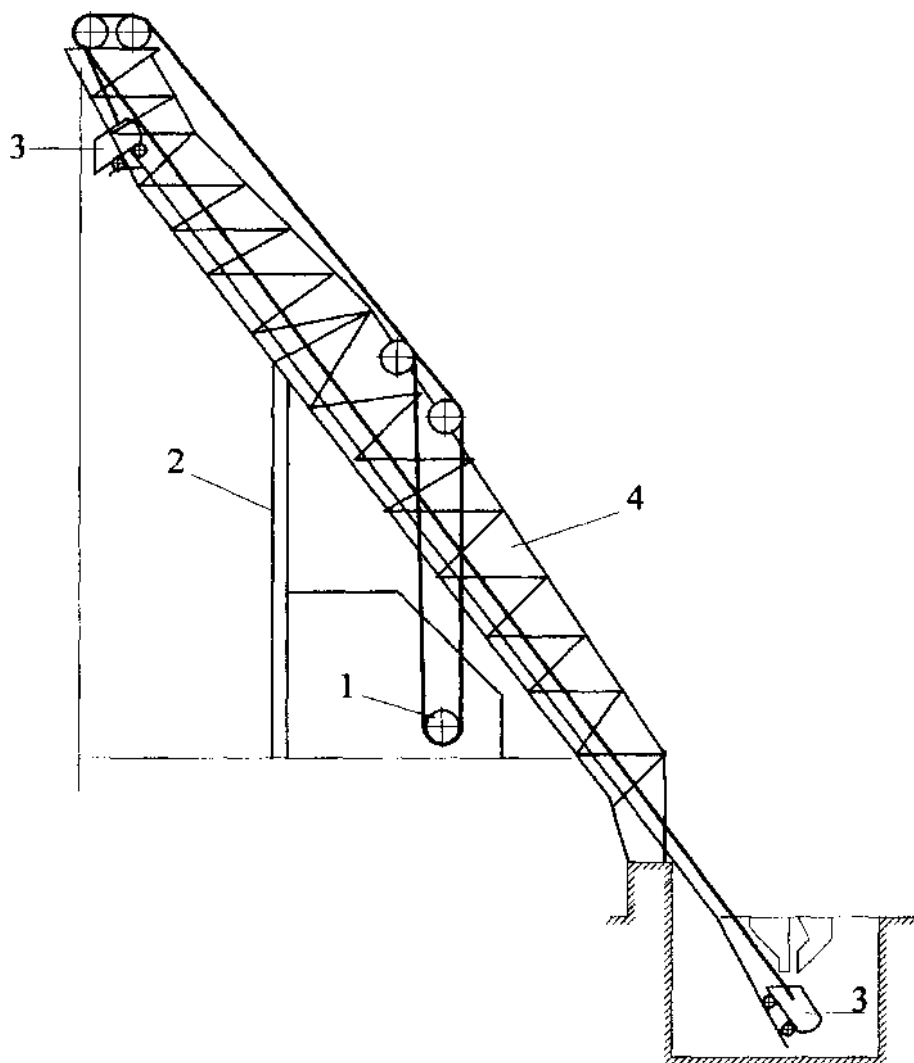


Рис. 1.2. Кінематична схема скіпового підйомника:

1 - лебідка, 2 - колона, 3 - скіп, 4 - міст

(розроблено автором)

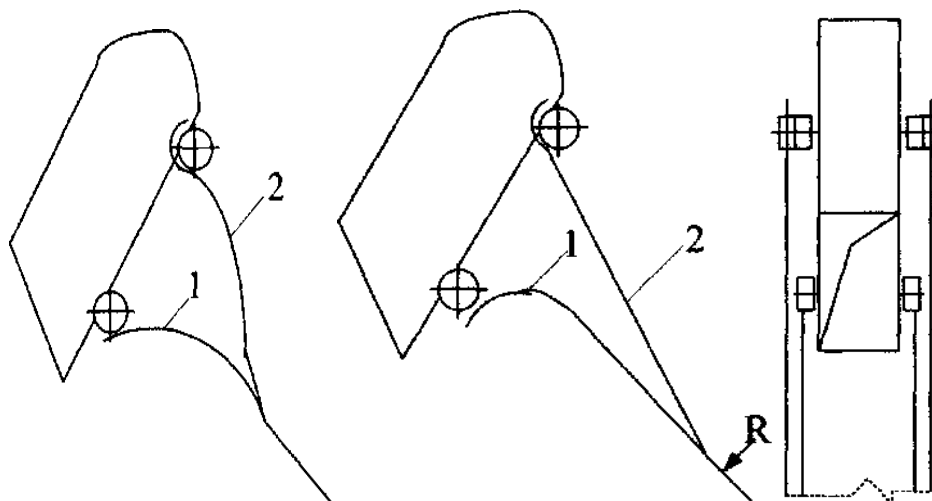


Рис. 1.3. Схема розвантажувальних кривих
(розроблено автором)

Основні технічні дані механізму скіпового підйомника наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні технічні дані механізму ЛС-29-11 [7]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	2	3	4
1	Тип скіпової лебідки	-	ЛС-29-11
2	Точність зупинки барабана	мм	±100
3	Тягове зусилля	тс	29
4	Швидкість руху скіпа	м/с	3,5
5	Діаметр барабана	м	2
6	Передавальне число редуктора	-	23,005
7	Об'єм скіпа	м³	12
8	Маса порожнього скіпа	т	17,5
9	Насипна щільність агломерату	т/м³	1,8

Продовження табл.1.1

1	2	3	4
10	Кут нахилу в скіповій ямі	°	60
11	Кут нахилу в середній частині	°	50
12	Діаметр каната	мм	35
13	Кількість канатів	шт	2
14	Маса 1 м каната	кг	17,5
15	ККД зубчастої передачі	-	0,8
16	Число двигунів	шт	2
17	Повна довжина шляху скіпа	м	84

1.3 Опис системи електропривода скіпового підйому ДП № 7

1.3.1 Технічні дані електродвигуна

Для подачі шихтових матеріалів на колошник застосовується двоскіповий підйомник урівноваженого типу, оснащений двомоторною лебідкою. Технічні параметри електродвигунів лебідки типу ДП-74/34-6К наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні параметри електродвигуна двоскіпового підйомника ДП-74/34-6К

[7]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	2	3	4
1	Номінальна потужність	кВт	550
2	Номінальна напруга	В	375
3	Номінальний струм якоря	А	1600
4	Номінальна швидкість обертання	об/хв	750
5	Номінальна напруга збудження	В	220
6	Номінальний струм збудження	А	12

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
7	Номінальний к.к.д.	в.о.	0,8
8	Перевантаження по струму	в.о.	2,5
9	Максимальна швидкість обертання	об/хв	925
10	Тривалість включення ТВ	%	60

Живлення електродвигунів здійснюється від генераторів підстанції «4-Д». Зміна швидкості обертання відбувається за рахунок зміни напруги на обмотках генератора; програмою зміни управляє шляховий вимикач, з'єднаний з барабаном лебідки.

1.3.2 Кінематична схема лебідки

Кінематичну схему лебідки конструкції ЛС-29-11 наведено на рис. 1.4.

Основними вузлами лебідки є: двигун, зубчасті муфти, робочі гальма, редуктор, зубчаста передача і барабан. Всі вали встановлені на підшипниках кочення. Барабан лебідки відлитий з чавуну, нарізка двоходова. Канати закріплені з двох сторін барабана: при обертанні один скіп піднімається, а інший опускається. Точність зупинки скіпа забезпечується в межах ± 100 мм.

Робоче гальмо забезпечує кінцеву зупинку лебідки. Вимикач слабини каната вимикає двигун при ослабленні каната внаслідок зависання скіпа або обриву канату [7].

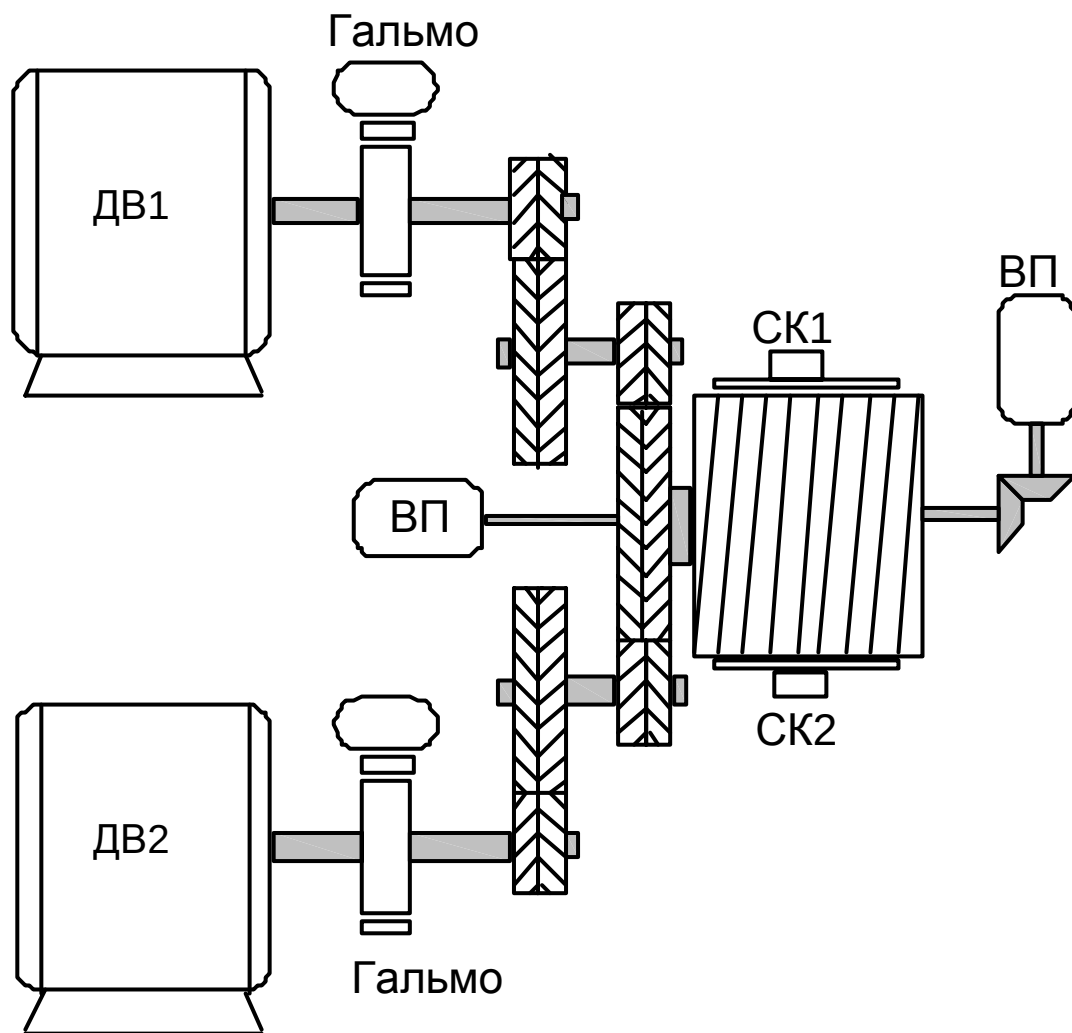


Рис. 1.4. Кінематична схема лебідки підйому ЛС-29-11
(розроблено автором)

1.4 Вимоги до електропривода скіпового підйому

До машин для подачі шихти висуваються жорсткі вимоги, оскільки затримка навіть на короткий час може призвести до переходу печі на тихий хід або її повної зупинки [8]. До електропривода головного скіпового підйому висуваються такі вимоги:

- діапазон регулювання швидкості обертання в межах 8:1;
- плавна зміна швидкості на початку і наприкінці шляху скіпа;

- висока надійність роботи;
- точна зупинка скіпа на колошнику в межах ± 100 мм незалежно від маси вантажу;
- швидкість підйому скіпа від 0,3 до 3,5 м/с;
- перерегулювання по швидкості - не більше 4,3%.

1.5 Аналіз існуючих схем управління та постановка задачі

У дипломному проекті пропонується замінити застарілу систему Г-Д живлення двигунів головного підйому на систему ТП-Д. Нижче наведено порівняльний аналіз обох систем [9].

Переваги системи Г-Д: плавність регулювання швидкості; точна зупинка скіпа незалежно від маси вантажу; відсутність пульсацій струму в ланці постійного струму; можливість рекуперації енергії в мережу.

Недоліки системи Г-Д: високі капітальні витрати; низький ККД; значні масогабаритні показники; великі експлуатаційні витрати через необхідність систематичних оглядів і ремонтів.

Переваги системи ТП-Д: уніфікація обладнання перетворювача; полегшення динамічних режимів пуску і гальмування; скорочення простоїв завдяки меншій кількості відмов і сучасній системі захисту; більша швидкодія; вищий ККД; менші капітальні та експлуатаційні витрати; менші масогабаритні показники (ТП-Д займає вдвічі меншу площу); витрата міді на 30-40% менша, ніж у системі Г-Д.

Недоліки системи ТП-Д: пульсація струму в ланцюзі постійного струму; необхідність застосування реакторів; знижений коефіцієнт потужності при великому діапазоні регулювання.

Виходячи з аналізу, обрано систему ТП-Д, яка забезпечує більшу швидкодію, вищий ККД та суттєво менші капітальні й експлуатаційні витрати, що є критичним з огляду на значні фінансові витрати металургійного виробництва.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна привода скіпової лебідки

2.1.1 Дані для розрахунку

Тип лебідки.....	ЛС-29-11;
Тягове зусилля (найбільше рудне навантаження скіпа).....	$F_T = 29 \text{ тс};$
Швидкість руху канатів.....	$v_k = 3,5 \text{ м/с}$
Діаметр барабана лебідки.....	$D_6 = 2 \text{ м};$
Загальне передаточне число від двигуна до барабана лебідки.....	$i_{збр} = 23,005;$
Корисний обсяг скіпа.....	$V_{ск} = 12 \text{ м}^3;$
Вага порожнього скіпа.....	$G_0 = 17,5 \text{ т};$
Насипна вага агломерату.....	$\rho_a = 1,8 \text{ т/м}^3;$
Насипна вага руди.....	$\rho_p = 2,1 \text{ т/м}^3;$
Кут нахилу рейкового шляху в скіповій ямі.....	$\alpha_1 = 60;$
Кут нахилу рейкового шляху в середній частині.....	$\alpha_2 = 50^\circ;$
Діаметр каната.....	$d_k = 47,5 \text{ мм};$
Вага погонного метра каната.....	$g_k = 17,5 \text{ кг};$
КПД двоступінчастої зубчастої передачі.....	$\eta_{перед} = 0,8;$
Число електродвигунів.....	$z_0 = 2 \text{ шт};$
Прискорення вільного падіння.....	$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$
Повна довжина шляху прохідного скіпом.....	$S_n = 84 \text{ м};$
Шлях, прохідний скіпом у скіповій ямі.....	$S_c = 16 \text{ м};$
Шлях, прохідний скіпом по похилому мосту	$S_m = 63 \text{ м};$
Динамічний момент інерції скіпової лебідки з урахуванням вантажу, наведений до вала одного двигуна.....	$j_{мех} = 100 \text{ кг*м}^2;$
Динамічний момент інерції гальмового шківa.....	$j_{ук} = 6,25 \text{ кг*м}^2;$

2.1.2 Розрахунок потужності електродвигуна

Максимальний вантаж, що піднімається скіповим підйомником, т:

$$G_{\epsilon} = V_{\text{ск}} \cdot \rho_p = 12 \cdot 2,1 = 25,2 \quad (2.1)$$

Натяг каната при підйомі скіпа зі скіпової ями, т:

$$F_1 = G_{\epsilon} \cdot \sin \alpha_1 = 25,2 \cdot \sin 60^\circ = 21,824 \quad (2.2)$$

Натяг каната при підйомі скіпа по похилому мосту, т:

$$F_2 = G_{\epsilon} \cdot \sin \alpha_2 = 25,2 \cdot \sin 50^\circ = 19,304 \quad (2.3)$$

Статичний момент на валу одного двигуна при підйомі скіпа зі скіпової ями, Нм:

$$M_{cm1} = \frac{F_1 \cdot \frac{D_{\bar{o}}}{2}}{i_{з\bar{o}p} \cdot \eta \cdot 2} \cdot 10^4 = \frac{21,824 \cdot \frac{2}{2}}{23,005 \cdot 0,8 \cdot 2} \cdot 10^4 = 5929,102 \quad (2.4)$$

Статичний момент на валу одного двигуна при підйомі скіпа по похилому мосту, Нм:

$$M_{cm2} = \frac{F_2 \cdot \frac{D_{\bar{o}}}{2}}{i_{з\bar{o}p} \cdot \eta \cdot 2} \cdot 10^4 = \frac{19,304 \cdot \frac{2}{2}}{23,005 \cdot 0,8 \cdot 2} \cdot 10^4 = 5244,599 \quad (2.5)$$

Сумарна довжина канатів, м:

$$L_k = 4 \cdot (1,7 \cdot S_n + 2 \cdot \pi \cdot D_{\bar{o}}) = 4 \cdot (1,7 \cdot 84 + 2 \cdot 3,1415 \cdot 2) = 621,465 \quad (2.6)$$

Сумарна вага канатів, кг:

$$G_k = g_k \cdot L_k = 17,5 \cdot 621,465 = 10875,646 \quad (2.7)$$

Сумарна сила тертя в системі барабан-скіп (включаючи втрати на твердість канатів), т:

$$F_0 = \left(\frac{G_k}{1000} + 2 \cdot G_0 + G_{\epsilon} \right) = \left(\frac{10875,646}{1000} + 2 \cdot 17,5 + 25,2 \right) = 3,554 \quad (2.8)$$

Сумарний момент тертя, наведений до вала одного двигуна, Нм:

$$M_0 = \frac{F_0 \cdot \frac{D_{\bar{o}}}{2}}{i_{з\bar{o}p} \cdot \eta \cdot 2} \cdot 10^4 = \frac{3,554 \cdot \frac{2}{2}}{23,005 \cdot 0,8 \cdot 2} \cdot 10^4 = 965,492 \quad (2.9)$$

Вага невірноваженої частини каната, кг:

$$G_{k1} = S_n \cdot g_k = 84 \cdot 17,5 = 1470 \quad (2.10)$$

Натяг каната скіпа, що піднімається, зі скіпової ями (з урахуванням ваги порожнього скіпа й ваги каната), т:

$$F_{1\max} = \left(\frac{G_{k1}}{1000} + G_0 + G_6 \right) \cdot \sin \alpha_2 = \left(\frac{1470}{1000} + 17,5 + 25,2 \right) \cdot \sin 50^\circ = 33,836 \quad (2.11)$$

Натяг каната скіпа, що опускається, розташованого на дефлекторній частині, т:

$$F_3 = G_0 \cdot \beta = 17,5 \cdot 0,4 = 7 \quad (2.12)$$

Маса вантажу, що піднімається, кг:

$$m_6 = \rho_p \cdot V_{\text{ск}} \cdot 1000 = 2,1 \cdot 12 \cdot 1000 = 25200 \quad (2.13)$$

Сила ваги руди, Н:

$$F_{\text{т.р}} = m_6 \cdot g = 25200 \cdot 9,81 = 247212 \quad (2.14)$$

Сила опору руху скіпа на ділянці шляху в скіповій ямі, Н:

$$F_{m1} = F_{\text{т.р}} \cdot \sin \alpha_1 = 247212 \cdot \sin 60^\circ = 214091,872 \quad (2.15)$$

Номінальне статичне зусилля на ободі барабана лебідки, Н:

$$F_{\text{ст.ном}} = F_{m1} + F_0 = 214091,872 + 3,554 = 214095,426 \quad (2.16)$$

Потужність двигуна, кВт:

$$P_{\text{ном}} = \frac{F_{\text{ст.ном}} \cdot v_k}{\eta \cdot z_\partial} \cdot 10^{-3} = \frac{214095,426 \cdot 3,5}{0,8 \cdot 2} \cdot 10^{-3} = 468,334 \quad (2.17)$$

Швидкість обертання вала двигуна, об/хв:

$$n_\partial = \frac{60 \cdot v_k \cdot i_{\text{збр}}}{\pi \cdot D_\partial} = \frac{60 \cdot 3,5 \cdot 23,005}{3,1415 \cdot 2} = 768,885 \quad (2.18)$$

Сила опору руху скіпа на ділянці шляху в середній частині, Н:

$$F_{\text{т.2}} = F_{\text{т.р}} \cdot \sin \alpha_2 = 247212 \cdot \sin 50^\circ = 189375,379 \quad (2.19)$$

2.1.3 Розрахунок часу роботи й паузи в роботі приводу

Швидкість на ділянках, м/с:

$$v_2 = 3,5$$

$$v_3 = 1,5$$

$$v_4 = 0,5$$

$$v_5 = 0$$

Прискорення приводу при русі зі скіпової ями, м/с² $a_1 = 0,3$;

Прискорення й із привода на інших ділянках, м/с^2 $a_2=0,6$;

Шлях, що проходить скіп з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$, м $S_1=1$;

Шлях, , що проходить скіп на інших ділянках, м $S_5=1$;

$$S_p=5$$

Час руху із прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$, с :

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot S_1}{a_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1}} = 2,582 \quad (2.20)$$

Швидкість, що досягне привод наприкінці першої ділянки, м/с :

$$V_1 = a_1 \cdot t_1 = 1 \cdot 2,582 = 0,775 \quad (2.21)$$

Час розгону привода до швидкості $V_2=3,5 \text{ м/с}$, с :

$$t_2 = \frac{V_2 - V_1}{a_2} = \frac{3,5 - 0,775}{0,6} = 4,542 \quad (2.22)$$

Шлях пройдений скіпом із прискоренням $3,5 \text{ м/с}^2$, м :

$$S_2 = \frac{V_2 + V_1}{2} \cdot t_2 = \frac{3,5 + 0,775}{2} \cdot 4,542 = 9,708 \quad (2.23)$$

Час гальмування зі швидкості $V_2=3,5 \text{ м/с}$ до швидкості $V_3=1,5 \text{ м/с}$, с :

$$t_4 = \frac{V_2 - V_3}{a_2} = \frac{3,5 - 1,5}{0,6} = 3,333 \quad (2.24)$$

Шлях пройдений скіпом за час гальмування t_4 , м :

$$S_4 = \frac{V_3 + V_2}{2} \cdot t_4 = \frac{1,5 + 3,5}{2} \cdot 3,333 = 8,333 \quad (2.25)$$

Шлях, що проходить скіп на швидкості $V_2 = 3,5 \text{ м/с}$, м :

$$S_3 = S_c + S_m - S_1 - S_2 - S_4 - S_5 = 16 + 63 - 1 - 9,708 - 8,333 - 1 = 58,958 \quad (2.26)$$

Час руху скіпа на швидкості $V_2 = 3,5 \text{ м/с}$, с :

$$t_3 = \frac{S_3}{V_2} = \frac{58,958}{3,5} = 16,845 \quad (2.27)$$

Час руху скіпа на швидкості $V_3 = 1,5 \text{ м/с}$, с :

$$t_5 = \frac{S_5}{V_3} = \frac{1}{1,5} = 0,667 \quad (2.28)$$

Час гальмування зі швидкості $V_3=1,5 \text{ м/с}$ до швидкості $V_4=0,5 \text{ м/с}$, с :

$$t_6 = \frac{V_3 - V_4}{a_2} = \frac{1,5 - 0,5}{0,6} = 1,667 \quad (2.29)$$

Шлях прохідний скіпом за час гальмування t_6 , м :

$$S_6 = \frac{V_4 + V_3}{2} \cdot t_6 = \frac{0,5 + 1,5}{2} \cdot 1,667 = 1,667 \quad (2.30)$$

Час гальмування зі швидкості $V_4=0,5$ м/с до швидкості $V_5=0$ м/с, с:

$$t_8 = \frac{V_4}{a_2} = \frac{0,5}{0,6} = 0,833 \quad (2.31)$$

Шлях прохідний скіпом за час гальмування t_8 , м:

$$S_8 = \frac{V_4}{2} \cdot t_8 = \frac{0,5}{2} \cdot 0,833 = 0,208 \quad (2.32)$$

Шлях, прохідний скіпом на швидкості $V_4 = 0,5$ м/с, м:

$$S_7 = S_p - S_6 - S_8 = 5 - 1,667 - 0,208 = 3,125 \quad (2.33)$$

Час, за яке скіп пройде шлях S_7 , с:

$$t_7 = \frac{S_7}{V_4} = \frac{3,125}{0,5} = 6,25 \quad (2.34)$$

Сумарний час роботи привода, с:

$$\begin{aligned} t_{\text{роб}} &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 = \\ &= 2,582 + 4,542 + 16,845 + 3,333 + 0,667 + 1,667 + 6,25 + 0,833 = 36,72 \end{aligned} \quad (2.35)$$

2.1.4 Розрахунок потужності електродвигуна з урахуванням тривалості включення

Час паузи в робочому циклі, с $t_{\text{паузи}} = 42$;

Задана тривалість включення $PB_{\text{зад}} = 0,6$;

Коефіцієнт запасу електродвигуна по потужності $K_{\text{зан}} = 1,25$

Розраховую ТВ виходячи із графіка роботи механізму, в.о.:

$$TB_{\text{розр}} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{роб}} + t_{\text{паузи}}} = \frac{36,72}{36,72 + 42} = 0,466 \quad (2.36)$$

Так як розрахункове значення ТВ відрізняється від заданого, то робимо розрахунок потужності двигуна на стандартну потужність із ТВ=60%, кВт:

$$P_{\text{н1}} = P_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{PB_{\text{розр}}}{PB_{\text{зад}}}} = 468,334 \cdot \sqrt{\frac{0,466}{0,6}} = 412,94 \quad (2.37)$$

Розрахунок потужності електродвигуна з урахуванням коефіцієнта запасу, кВт:

$$P_{\text{д,розрах}} = K_{\text{зан}} \cdot P_{\text{н1}} = 1,25 \cdot 412,94 = 516,175 \quad (2.38)$$

2.1.5 Вибір електродвигуна скіпового підйому

Вибрано електродвигун типу ДП-74/37-6К з номінальними параметрами, наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Номінальні параметри обраного електродвигуна ДП-74/37-6К [7]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Номінальна потужність	кВт	550
2	Номінальна напруга якоря	В	375
3	Номінальний струм якоря	А	1600
4	Номінальна швидкість	об/хв	750
5	Номінальний струм збудження	А	12
6	Номінальний ККД	в.о.	0,8
7	Кратність перевантаження по струму	в.о.	2,5
8	Максимальна швидкість	об/хв	925
9	Мінімальний струм збудження	А	6
10	Число полюсів	шт	6
11	Число витків обм. збудження на полюс	шт	640
12	Номінальний потік полюса	Вб	0,08981
13	Опір якоря $R_{\text{я}}$	Ом	0,00249
14	Опір компенсаційної обм. $R_{\text{ко}}$	Ом	0,00132
15	Опір обм. дод. полюсів $R_{\text{дп}}$	Ом	0,00052
16	Опір обм. збудження $R_{\text{оз}}$	Ом	13,1
17	Момент інерції J	кг м ²	125
18	Максимально припустима похідна струму $(di/dt)_{\text{макс}}$	-	32

2.1.6 Розрахунок сумарного моменту електродвигуна

Максимально можливий статичний момент при підйомі скіпа зі скіпової ями, Нм:

$$M_{\text{ст1.макс}} = \frac{(F_{1\text{макс}} - F_3) \cdot \frac{D_6}{2}}{i_{\text{збр}} \cdot \eta \cdot 2} \cdot 10^4 = \frac{(33,836 - 7) \cdot \frac{2}{2}}{23,005 \cdot 0,8 \cdot 2} \cdot 10^4 = 7290,856 \quad (2.39)$$

Сумарний статичний момент на валу одного двигуна при підйомі скіпа зі скіпової ями, Нм:

$$M_{\text{ст1}\Sigma} = M_{\text{ст1}} + M_0 = 5929,102 + 965,492 = 6894,594 \quad (2.40)$$

Сумарний статичний момент на валу одного двигуна при русі скіпа по похилому мосту, Нм:

$$M_{\text{ст2}\Sigma} = M_{\text{ст2}} + M_0 = 5244,599 + 965,492 = 6210,091 \quad (2.41)$$

Максимальний сумарний статичний момент на валу одного двигуна при підйомі скіпа зі скіпової ями, Нм:

$$M_{\text{ст1}\Sigma\text{макс}} = M_{\text{ст1макс}} + M_0 = 7290,856 + 965,492 = 8256,348 \quad (2.42)$$

Сумарний динамічний момент, наведений до вала двигуна, кг·м²:

$$j_{\Sigma} = j_{\text{мех}} + j_{\text{дв}} + j_{\text{шк}} = 100 + 125 + 6,25 = 231,25 \quad (2.43)$$

Частота обертання вала двигуна на окремих ділянках, рад/сек:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot V_1 \cdot i_{\text{збр}}}{D_6} = \frac{2 \cdot 0,775 \cdot 23,005}{2} = 17,82 \quad (2.44)$$

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot V_2 \cdot i_{\text{збр}}}{D_6} = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 23,005}{2} = 80,517 \quad (2.45)$$

$$\omega_3 = \frac{2 \cdot V_3 \cdot i_{\text{збр}}}{D_6} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 23,005}{2} = 34,508 \quad (2.46)$$

$$\omega_4 = \frac{2 \cdot V_4 \cdot i_{\text{збр}}}{D_6} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 23,005}{2} = 11,502 \quad (2.47)$$

Необхідний динамічний момент на ділянках, Нм:

$$M_{\text{дин1}} = j_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_1}{t_1} = 231,25 \cdot \frac{17,82}{2,582} = 1595,972 \quad (2.48)$$

$$M_{\text{дин2}} = j_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2} = 231,25 \cdot \frac{80,517 - 17,82}{4,542} = 3191,94 \quad (2.49)$$

$$M_{\text{дин3}} = j_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_3}{t_4} = 231,25 \cdot \frac{80,517 - 34,508}{3,333} = 3191,944 \quad (2.50)$$

$$M_{\text{дин4}} = j_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_3 - \omega_4}{t_6} = 231,25 \cdot \frac{34,508 - 11,502}{1,667} = 3191,944 \quad (2.51)$$

$$M_{\text{дин5}} = j_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_4}{t_8} = 231,25 \cdot \frac{11,502}{0,833} = 3191,944 \quad (2.52)$$

Сумарний момент двигуна на ділянках, Нм:

$$M_{\Sigma1} = M_{\text{ст1}\Sigma} + M_{\text{дин1}} = 6894,594 + 1595,972 = 8490,566 \quad (2.53)$$

$$M_{\Sigma2} = M_{\text{ст1}\Sigma} + M_{\text{дин2}} = 6894,594 + 3191,944 = 10086,538 \quad (2.54)$$

$$M_{\Sigma3} = M_{\text{ст1}\Sigma} = 6894,594 \quad (2.55)$$

$$M_{\Sigma4} = M_{\text{ст2}\Sigma} = 6210,091 \quad (2.56)$$

$$M_{\Sigma5} = M_{\text{ст2}\Sigma} - M_{\text{дин3}} = 6210,091 - 3191,944 = 3018,147 \quad (2.57)$$

$$M_{\Sigma6} = M_{\text{ст2}\Sigma} = 6210,091 \quad (2.58)$$

$$M_{\Sigma7} = M_{\text{ст2}\Sigma} - M_{\text{дин4}} = 6210,091 - 3191,944 = 3018,147 \quad (2.59)$$

$$M_{\Sigma\text{макс}} = M_{\text{ст1}\Sigma\text{макс}} + M_{\text{дин4}} = 8256,348 + 3191,944 = 11448,292 \quad (2.60)$$

2.1.7 Перевірочний розрахунок електродвигуна

Виконаємо розрахунок параметрів електродвигуна для проведення перевірки на перевантаження по струму.

Навантажувальна діаграма на різних ділянках згідно розрахунку зображена на рис. 2.1.

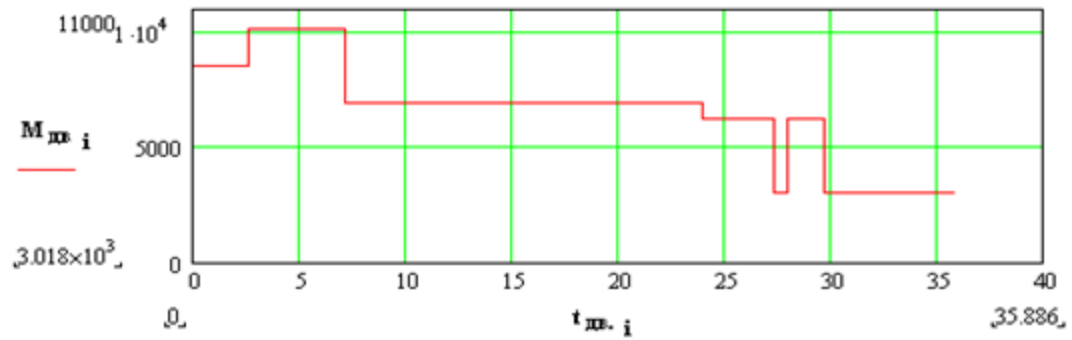


Рис. 2.1. Навантажувальна діаграма електродвигуна привода головного підйому
(розроблено автором)

Мережна потужність, кВт:

$$P_{1н} = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{550}{0,8} = 687,5 \quad (2.61)$$

Номінальна частота обертання, рад/сек:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,1415 \cdot 750}{30} = 78,54 \quad (2.62)$$

Номінальний момент на валу електродвигуна, Нм:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_n} = \frac{550 \cdot 1000}{78,54} = 7002,817 \quad (2.63)$$

Номінальні втрати потужності, кВт:

$$\Delta P_n = P_{1н} - P_n = 687,5 - 550 = 137,5 \quad (2.64)$$

Потужність на валу двигуна на кожній ділянці, їхні параметри наведені в табл. 2.2, кВт:

$$P_{M_i} = M_{дв.i} \cdot \omega_{дв.i} \quad (2.65)$$

Потужність, споживана двигуном з мережі, кВт:

$$P_{e_i} = \frac{P_{M_i}}{\eta_{дв}} \quad (2.66)$$

Робочий струм якоря, А:

$$I = \frac{P_{e_i}}{U_{ном}} \quad (2.67)$$

Таблиця 2.2

Параметри потужності двигуна, частоти обертання

Часові інтервали, $t_{дв.}, c$	Момент двигуна, $M_{дв.}, Нм$	Частота обертання вала двигуна на ділянках, $\omega_{дв.}, рад/сек$
0	8490,566	0
2,58	8490,566	17,82
2,58	10086,538	17,82
7,13	10086,538	80,571
7,13	6894,594	80,571
23,976	6894,594	80,571
23,976	6210,091	80,571
27,306	6210,091	30,508
27,306	3018,147	30,508
27,976	3018,147	30,508
27,976	6210,091	30,508
29,646	6210,091	11,502
29,646	3018,147	11,502
36,716	3018,147	0

Значення потужності на валу двигуна, потужності, споживаної двигуном з мережі, робочого струму двигуна наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

**Значення потужності на валу двигуна, потужності, споживаної
двигуном з мережі, робочого струму двигуна**

Потужність на валу двигуна, $P_m, кВт$	Потужність, споживана двигуном з мережі, $P_e, кВт$	Робочий струм якоря двигуна, $I, А$
1	2	3
0	0	0
$1,513 \cdot 10^5$	$1,891 \cdot 10^5$	504,328
$1,797 \cdot 10^5$	$2,247 \cdot 10^5$	599,127
$8,121 \cdot 10^5$	$1,015 \cdot 10^5$	$2,707 \cdot 10^3$
$5,551 \cdot 10^5$	$6,939 \cdot 10^5$	$1,85 \cdot 10^3$
$5,551 \cdot 10^5$	$6,939 \cdot 10^5$	$1,85 \cdot 10^3$

Продовження табл. 2.3

1	2	3
$5 \cdot 10^5$	$6,25 \cdot 10^5$	$1,667 \cdot 10^3$
$2,143 \cdot 10^5$	$2,679 \cdot 10^5$	714,316
$1,041 \cdot 10^5$	$1,302 \cdot 10^5$	347,162
$1,041 \cdot 10^5$	$1,302 \cdot 10^5$	347,162
$2,143 \cdot 10^5$	$2,679 \cdot 10^5$	714,316
$7,143 \cdot 10^4$	$8,929 \cdot 10^4$	238,105
$3,472 \cdot 10^4$	$4,34 \cdot 10^4$	115,721
0	0	0

Приймаємо максимальний струм якоря, А:

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{ном}} = 2 \cdot 1600 = 3200 \quad (2.68)$$

Значення еквівалентного струму якоря, А:

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_i I_i^2 \cdot t_{\text{дв},i}}{\sum_i t_{\text{дв},i}}} = 982,989 \quad (2.69)$$

Графіки зроблених розрахункових значень струму якорі наведені на рис. 2.2.

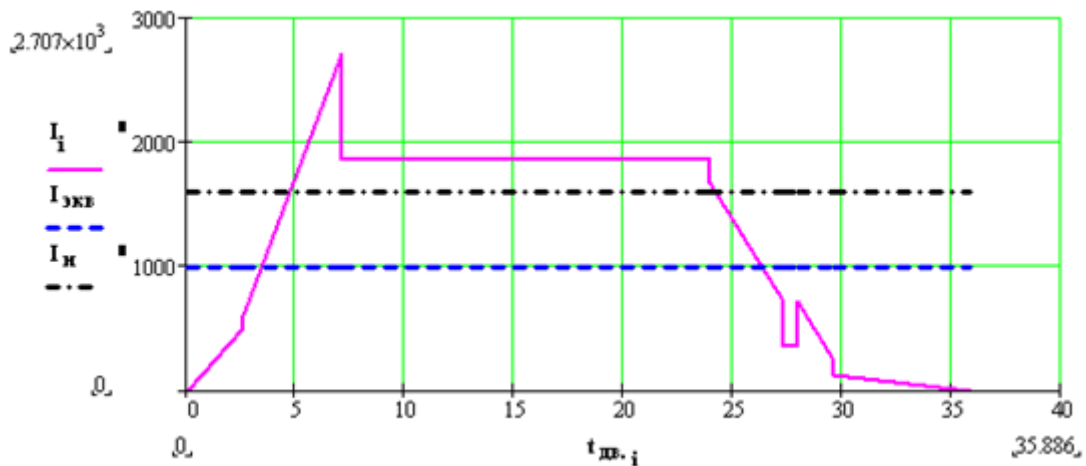


Рис. 2.2. Графіки розрахункових значень струму якоря
(розроблено автором)

2.1.8 Перевірка двигуна на перевантаження по втратах потужності

Номінальні втрати потужності, кВт:

$$\Delta P_n = \frac{P_n \cdot (1 - \eta_{ог}) \cdot 1000}{\eta_{ог}} = \frac{550 \cdot (1 - 0,8) \cdot 1000}{0,8} = 137,5 \quad (2.70)$$

Реальні втрати потужності у двигуні, кВт:

$$\Delta P_i = P_{e_i} - P_{m_i} \quad (2.71)$$

На рис. 2.3 зображений графік реальних втрат потужності у двигуні.

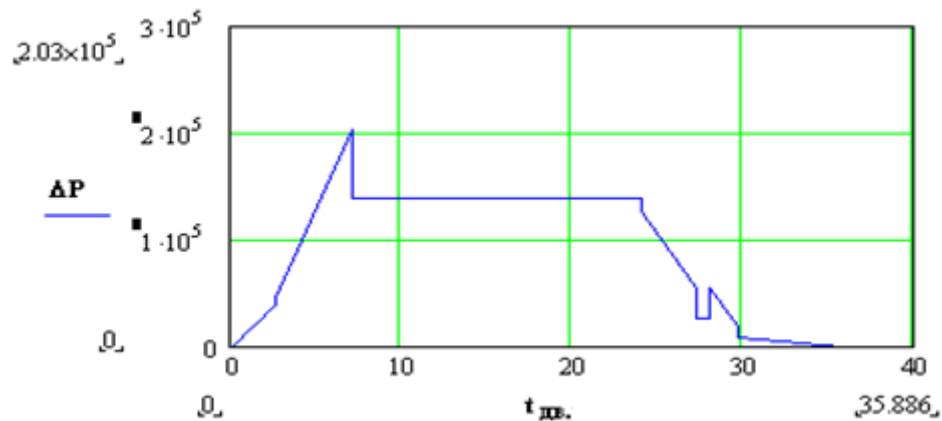


Рис. 2.3. Графік реальних втрат потужності у двигуні
(розроблено автором)

Еквівалентні втрати потужності у двигуні, кВт:

$$\Delta P_{екв} = \sqrt{\frac{\sum_i \Delta P_i^2 \cdot t_{дв.i}}{\sum_i t_{дв.i}}} = 73,72 \quad (2.72)$$

Порівнюю еквівалентні й номінальні втрати потужності:

$$\Delta P_{ткв} = 73,72 \text{ кВт} < \Delta P_n = 137,5 \text{ кВт}$$

Так як еквівалентні втрати менше номінальних, двигун не перегрівається.

2.1.9 Розрахунок номінальної потужності з урахуванням температури навколишнього середовища

Температурний коефіцієнт..... $\alpha=1$;

Клас ізоляції Н, припустима температура нагрівання обмоток... $t_{\text{доп}}=180^{\circ}$;

Номінальна температура..... $t_{\text{ном}}=40^{\circ}$;

Температура навколишнього середовища..... $t_{\text{н.с.}}=60^{\circ}$.

Припустима температура перегріву, градус Цельсія:

$$\tau_{\text{ном}} = t_{\text{доп}} - t_{\text{ном}} = 180 - 40 = 140 \quad (2.73)$$

Припустима температура перегріву при навколишній температурі, градус

Цельсія: $\tau_{\text{доп}} = t_{\text{доп}} - t_{\text{н.с.}} = 180 - 60 = 120 \quad (2.74)$

Коефіцієнт термічного перевантаження, в.о.:

$$\kappa = \frac{\tau_{\text{доп}}}{\tau_{\text{ном}}} = \frac{120}{140} = 0,857 \quad (2.75)$$

Номінальна потужність двигуна для заданих умов експлуатації, кВт:

$$P_n = \frac{P_{n1}}{\sqrt{\kappa \cdot (\alpha + 1) - \alpha}} = \frac{412,94}{\sqrt{0,857 \cdot (1 + 1) - 1}} = 488,598 \quad (2.76)$$

2.1.10 Визначення середньозваженого ККД за цикл роботи

$$\eta_{\text{ср.}} = \frac{\sum_i \Delta P_{M_i}^2 \cdot t_{\text{дв.і}}}{\sum_i \Delta P_{e_i}^2 \cdot t_{\text{дв.і}}} = 0,8 \quad (2.77)$$

2.2 Розробка функціональної схеми

На рис. 2.4 зображено запропоновану функціональну схему живлення приводу скіпового підйомника. Оскільки кожен двигун живиться від окремого тиристорного перетворювача за ідентичними схемами, функціональну схему наведено для одного з двигунів.

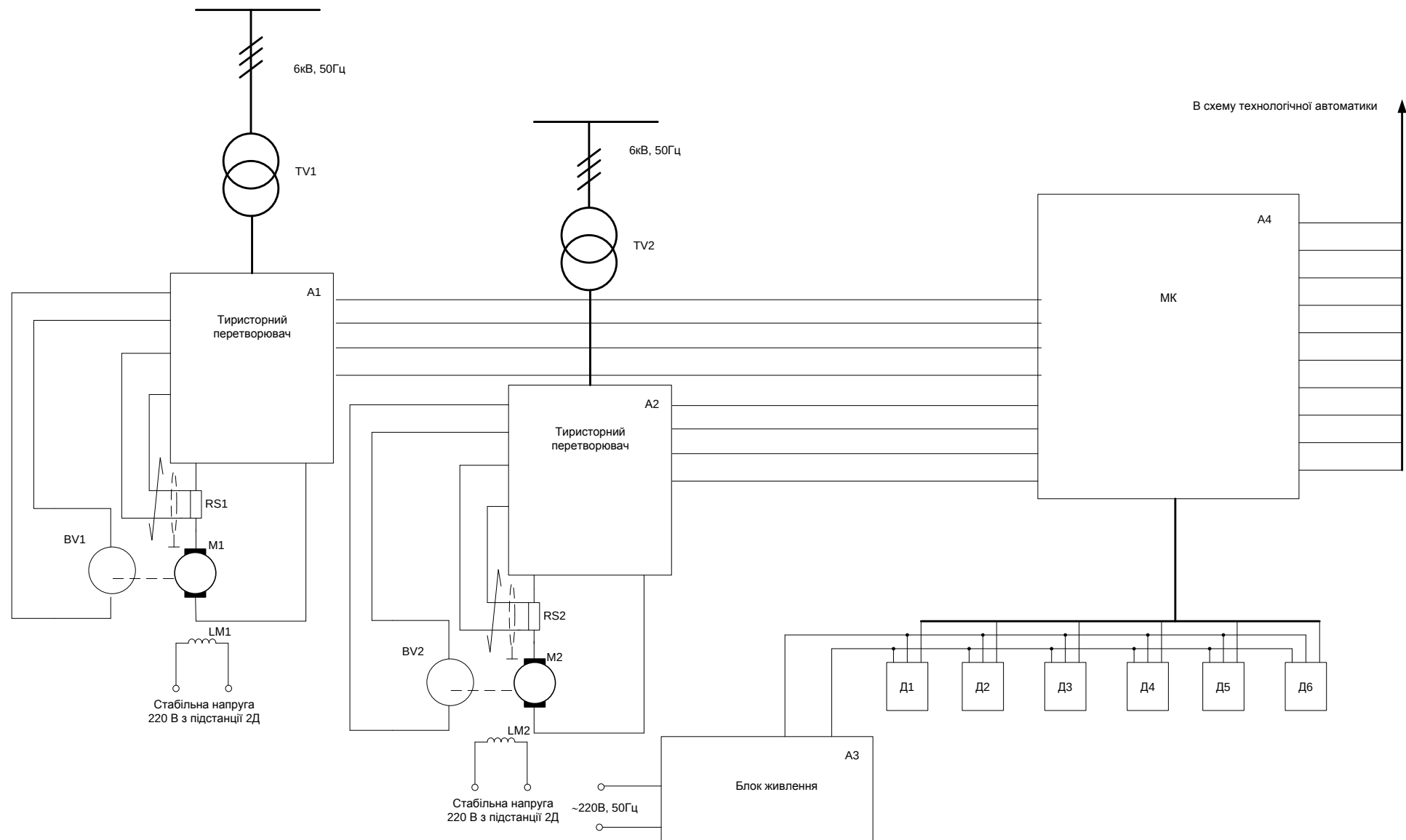


Рис. 2.4. Функціональна схема для одного з двигунів приводу скіпового підйомника
(розроблено автором)

2.3 Вибір силового перетворювача

Для керування електроприводом скіпового підйомника обрано два комплектних тиристорних перетворювачі постійного струму SIEMENS SIMOREG DC-MASTER 6RA70 (ФРН). Технічні параметри перетворювача наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні параметри тиристорного перетворювача SIEMENS SIMOREG DC-MASTER 6RA70 [10]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Виробник, країна		SIEMENS, ФРН
2	Тип		SIMOREG DC-MASTER 6RA70
3	Номінальна вихідна напруга	В	400
4	Номінальний вихідний струм	А	1600
5	Термін служби	років	15-20
6	Наробіток на відмову	год	4000-6500
7	Комунікаційний інтерфейс		PROFIBUS, ModBUS, CANopen
8	Інтервал регулювання моменту/струму	мс	< 10

Вибрано згладжувальний дросель типу СРОС3-1250М УХЛ4: індуктивність 0,00032 Гн, номінальний струм 2500 А.

Вибрано силовий трансформатор типу ТСЗП 2500/6У3: напруга вторинної обмотки $U_2 = 411$ В, номінальний струм вторинної обмотки 2040 А, напруга первинної обмотки 6000 В, напруга КЗ 5,5%.

2.4 Вибір системи керування

Для управління електроприводом обрано багатоконтурну систему автоматичного управління (САУ) підпорядкованого регулювання в повністю цифровому виконанні.

Застосування цифрових систем безпосереднього цифрового керування (БЦК) надає такі переваги [11]: практично необмежена гнучкість структури контурів; автоматичне коригування оптимальних параметрів регуляторів при зміні динамічних характеристик об'єкта; можливість обчислення невимірюваних параметрів за математичною моделлю; компенсація нелінійностей датчиків програмним шляхом; реалізація принципу розподіленого управління з підвищеною живучістю системи.

2.5 Розрахунок параметрів цифрової системи

Температурний коефіцієнт $\beta_T = 1,35$.

Активний опір якірного кола з урахуванням температурного коефіцієнта, Ом:

$$\begin{aligned} R_a &= \beta_T - (R_{\text{я}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{дп}}) = \\ &= 1,35 - (0,00249 + 0,00132 + 0,00052) = 0,00585 \end{aligned} \quad (2.78)$$

Фазна напруга вторинної обмотки трансформатора, В:

$$U_{2\phi} = U_2 / \sqrt{3} = 411 / \sqrt{3} = 237,29 \quad (2.79)$$

Втрати в міді

$$\Delta P_m = 19500 \text{ Вт}$$

Активний опір трансформатора

$$R = \frac{\Delta P_m}{I_{dH}^2} = \frac{1950}{1600^2} = 0,00761 \text{ Ом} \quad (2.80)$$

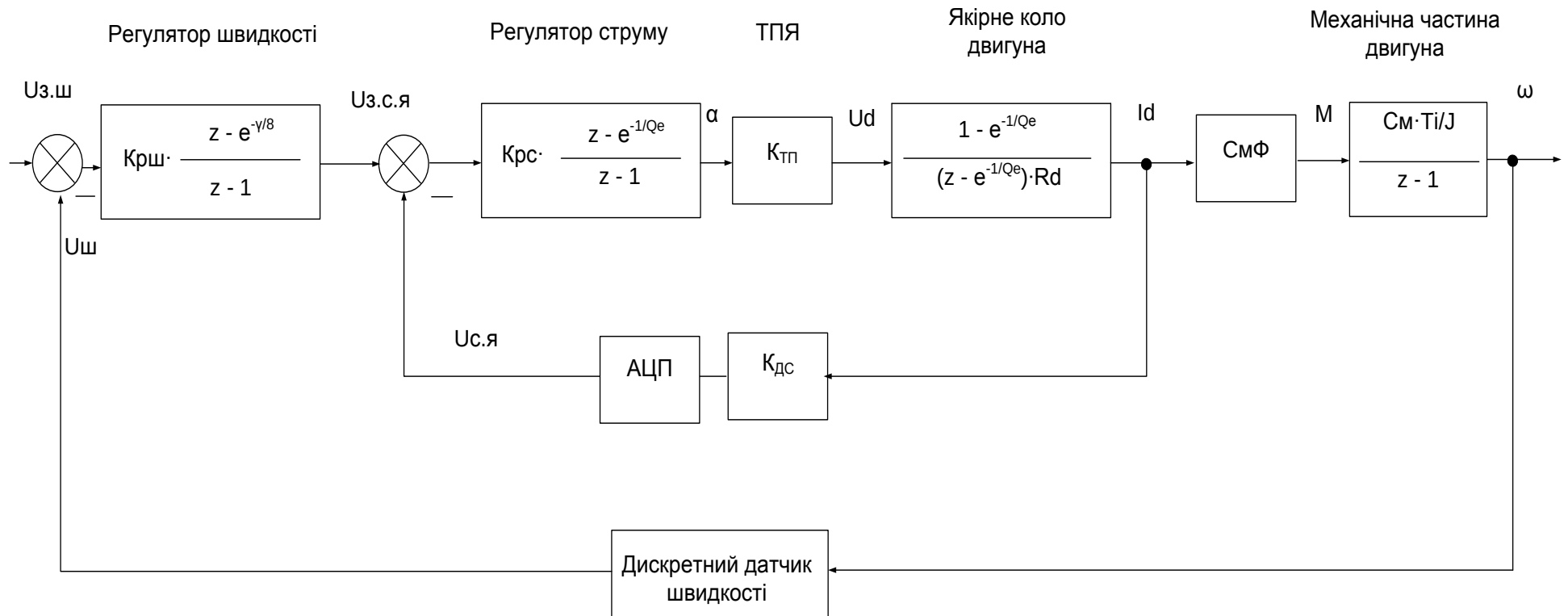


Рис. 2.5. Структурна схема системи керування приводом постійного струму
(розроблено автором)

Еквівалентний опір трансформатора

$$R_{екв} = 0,5 \cdot U_k \cdot \frac{E_{d0}}{I_{dH}} = 0,5 \cdot 0,055 \cdot \frac{555.26}{1600} = 0,009543 \text{ Ом} \quad (2.81)$$

Загальний активний опір головного кола, Ом:

$$\begin{aligned} R_e &= R_a + R + R_{екв} + 0,1 R_a = \\ &= 0,00585 + 0,0076 + 0,00954 + 0,00059 = 0,0236 \end{aligned} \quad (2.82)$$

Індуктивність якірного кола, Гн:

$$\begin{aligned} L &= 0,1 \cdot (60 / (2\pi \cdot n_H \cdot p)) \cdot (U_H / I_H) = \\ &= 0,1 \cdot (60 / (2\pi \cdot 750 \cdot 3)) \cdot (375 / 1600) = 0,0000497 \end{aligned} \quad (2.83)$$

Індуктивний опір фази тр-ра, приведений до вторинної обмотки

$$\kappa_{di} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$$

$$x_T = U_k \cdot \frac{U_{2f}}{I_{dH} \cdot \kappa_{di}} = 0,055 \cdot \frac{237.291}{1600 \cdot 0,577} = 0,0141 \text{ Ом} \quad (2.84)$$

Індуктивність розсіювання трансформатора

$$\omega_c = 314$$

$$L_T = 0,5 \cdot \frac{x_T}{\omega_c} = 0,5 \cdot \frac{0,0141}{314} = 0,0000224 \text{ Гн} \quad (2.85)$$

Загальна індуктивність (з дроселем), Гн:

$$\begin{aligned} L\Sigma &= L + L_T + L_{др} = \\ &= 0,0000497 + 0,0000225 + 0,00032 = 0,000392 \end{aligned} \quad (2.86)$$

Повна електромагнітна постійна часу, с:

$$T_e = L\Sigma / R_{\text{екв}} = 0,000392 / 0,0236 = 0,01663 \quad (2.87)$$

Номінальна ЕРС двигуна, В:

$$E_n = U_n - I_n \cdot R_a - \Delta U_{\text{щ}} = 375 - 1600 \cdot 0,00585 - 2 = 365,64 \quad (2.88)$$

де $\Delta U_{\text{щ}} = 2$ В – падіння напруги під щітками.

Конструктивний коефіцієнт двигуна по ЕРС, В·с/рад:

$$C_{\text{еф}} = E_n / (n_n \cdot \pi / 30) = 365,64 / 78,54 = 4,630 \quad (2.89)$$

Конструктивний коефіцієнт двигуна по моменту, Н · м/А:

$$C_{\text{мф}} = M_n / I_n = 7003,3 / 1600 = 4,377 \quad (2.90)$$

Сумарний момент інерції, кг·м²:

$$\begin{aligned} J\Sigma &= J_{\text{мех}} / (i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}}) + J_d = \\ &= 4704000 / (529,23 \cdot 0,9) + 125 = 987,6 + 125 = 1112,6 \end{aligned} \quad (2.91)$$

2.5.1 Побудова механічної характеристики електропривода

Механічну характеристику розімкненої системи будують за залежністю:

$$n = (E_{d0} \cdot \cos\alpha - I \cdot R) / C_{\text{еф}} \quad (2.92)$$

де α – кут відкриття тиристорів ($\alpha = 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$).

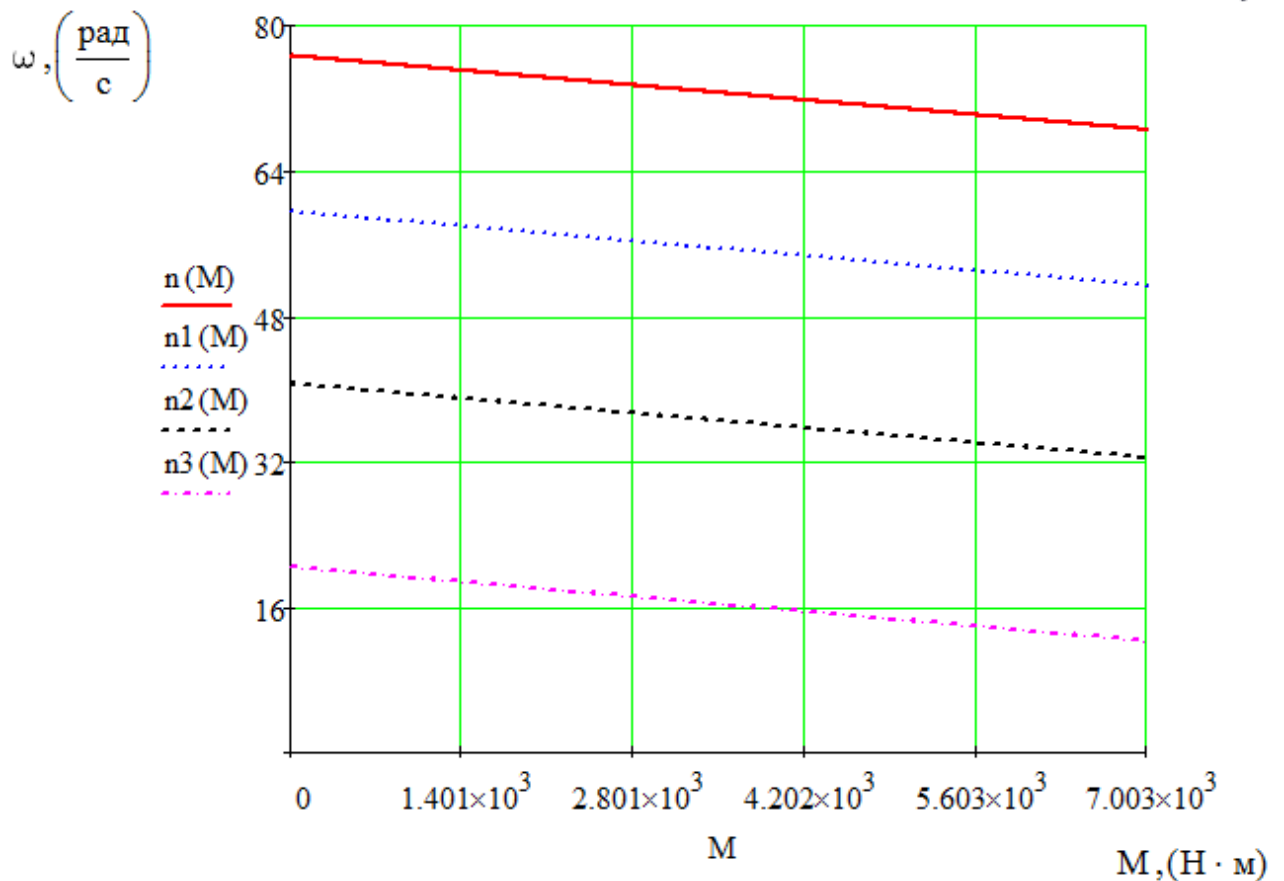


Рис. 2.6. Механічні характеристики електропривода при різних кутах відкриття тиристорів
(розроблено автором)

Статизм розімкненої системи, %:

$$\Delta\omega = \frac{I_H \cdot R_e}{C_e \Phi_H} = 8,152 \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \quad (2.93)$$

Статизм розімкненої системи при цьому

$$v = \frac{\Delta\omega}{\left(n_H \cdot \frac{\pi}{30}\right)} = 10,4 \quad (2.94)$$

Статизм 10,4% для нерегульованої системи є значним. Застосування багатоконтурної системи підпорядкованого регулювання дозволяє знизити статизм до нормованого значення менше 0,5% [11].

2.5.2 Розрахунок коефіцієнтів передачі цифрових перетворювачів інформації

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача по якірному колі:

$$K_{\text{тп}} = E_{\text{d0}} = 555,26 \text{ В} \quad (2.94)$$

Час інтервалу квантування:

$$T_{\text{іпо}} = T / 6 = 0,02 / 6 = 0,00333 \text{ с} \quad (2.95)$$

Максимальний струм якоря, А:

$$I_{\text{макс}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 1600 = 4000 \quad (2.96)$$

Коефіцієнт передачі датчика струму якоря (10-розрядний АЦП):

$$K_{\text{дся}} = (10 / I_{\text{макс}}) \cdot (2^{10} / 10) = (10 / 4000) \cdot 102,4 = 0,256 \quad (2.97)$$

Коефіцієнт передачі датчика швидкості (енкодер $Z = 1000$ імп/об):

$$K_{\text{дш}} = Z \cdot T_{\text{вим}} \cdot 2^{14} / 2\pi = 1000 \cdot 0,002 / 16384 \cdot 6,283 = 13,65 \quad (2.98)$$

де $T_{\text{вим}} = 0,002$ с – час вимірювання швидкості.

2.6 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регуляторів

2.6.1 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регулятора струму

Настроювання регулятора струму виконується на модульний оптимум (МО).

Відношення електромагнітної постійної до інтервалу квантування:

$$Q_e = T / T_{\text{ипо}} = 0,01663 / 0,00333 = 4,99 \quad (2.99)$$

Число кроків модуляції АЦП тиристорного перетворювача:

$$M_a = 2^9 / \pi / 3 = 512 / 1,047 = 488,92 \quad (2.100)$$

Пропорційна складова цифрового регулятора струму:

$$K_{\text{прся}} = M_a \cdot R_e \cdot (1 - e^{-1}) / (1 - e^{-1/Q_e}) \cdot K_{\text{дся}} \cdot K_{\text{тпя}} = 0,28237 \quad (2.101)$$

Інтегральна складова цифрового регулятора струму:

$$K_{\text{ірся}} = K_{\text{прся}} \cdot (1 - e^{-1/Q_e}) = 0,28237 \cdot (1 - e^{-1/4,99}) = 0,051292 \quad (2.102)$$

Перевіримо налаштування регулятора струму, розімкнувши в моделі механічну частину двигуна, та зворотній зв'язок по ЕРС.

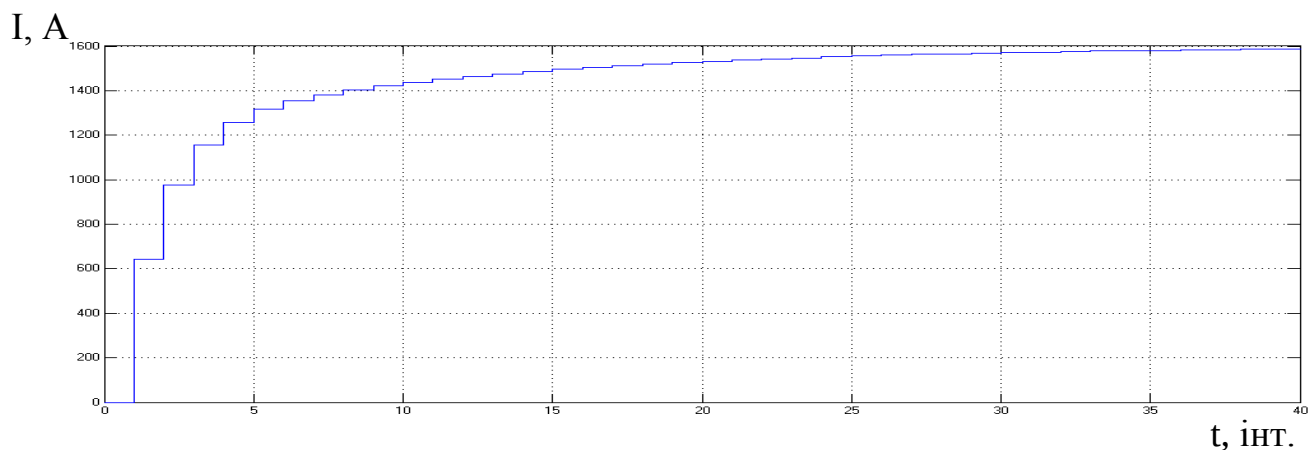
2.6.2 Розрахунок коефіцієнтів настроювання регулятора швидкості

Пропорційна складова цифрового регулятора швидкості:

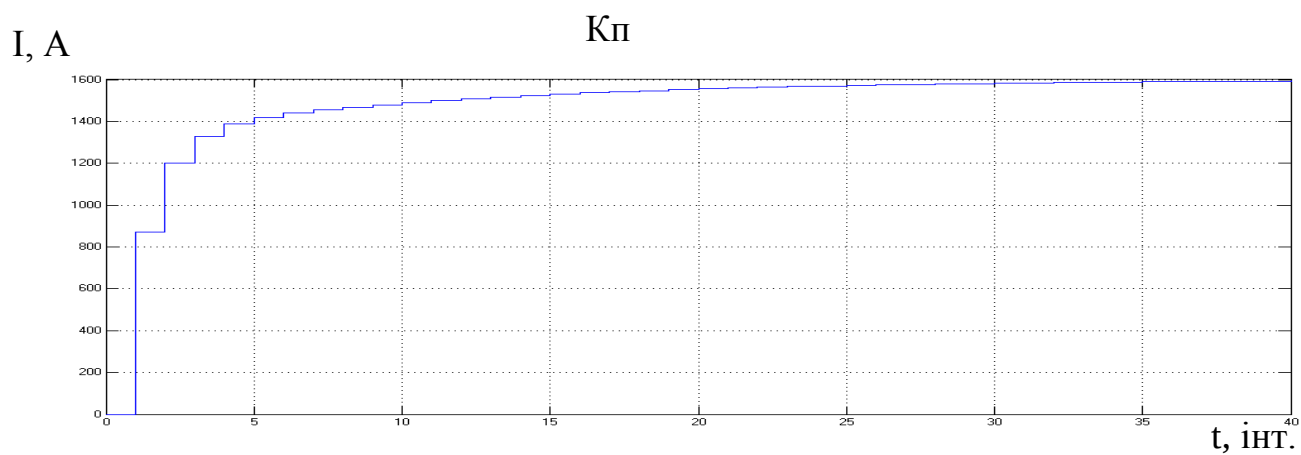
$$K_{\text{рш}} = J \Sigma \cdot (2\pi/60) \cdot (1 - e^{-\gamma/2}) / ((C_m \Phi \cdot T_{\text{ипо}} \cdot K_{\text{дш}}) \cdot (1 - e^{-\gamma})) = 364,25 \quad (2.103)$$

Інтегральна складова цифрового регулятора швидкості:

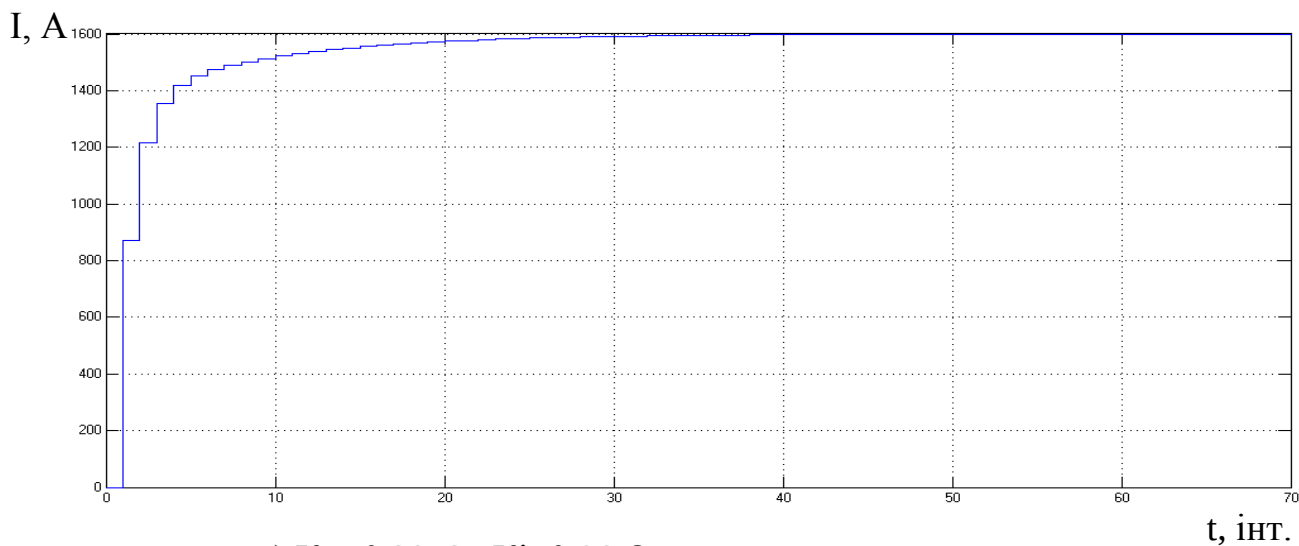
$$K_{\text{іш}} = K_{\text{рш}} \cdot (1 - e^{-\gamma/8}) = 364,25 \cdot (1 - e^{-1/8}) = 42,800 \quad (2.104)$$



а) $K_p=0,28237$, $K_i=0,051292$. Забагато інтервалів інтегрувань, підвищуємо



б) $K_p= 0,38237$, $K_i=0,051292$. Трохи ліпше, але ще можна зменшити інтервали інтегрувань



в) $K_p=0,38237$ $K_i=0,06$ Оптимальне налагодження

Рис. 2.7. Графіки налагодження регулятора струму при різних значеннях

K_p та K_i

(розроблено автором)

Максимальний вхідний сигнал регулятора швидкості:

$$S_{\text{макс}} = I_{\text{макс}} / K_{\text{дся}} \cdot K_{\text{іш}} = 4000 / 0,256 \cdot 42,800 = 365,0688 \quad (2.105)$$

2.7 Вибір мікропроцесорного обладнання

За каталогами виробників обчислювальної техніки обрано промисловий контролер Advantech (Тайвань). Технічні параметри системи наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Технічні параметри промислового контролера Advantech PCA-6752F [12]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Виробник, країна		Advantech, Тайвань
2	Тип		PCA-6752F
3	Процесор		Intel Pentium MMX 233 МГц
4	Кеш другого рівня	Кбайт	512
5	ОЗП (SDRAM)	Мбайт	128
6	Контролер Ethernet		10/100Base-T Realtek 8139
7	Діапазон робочих температур	°C	0...60
8	Живлення	В	5
9	Споживаний струм (макс.)	А	8,5

Вибрано модуль дискретного введення-виведення Advantech PCI-1754: 64 вхідних канали; напруга гальванічної ізоляції 2500 В; час спрацювання оптоізолятора 25 мкс [12].

2.8 Розробка принципової схеми

Принципову схему розробленої системи керування наведено на рис. 2.8.

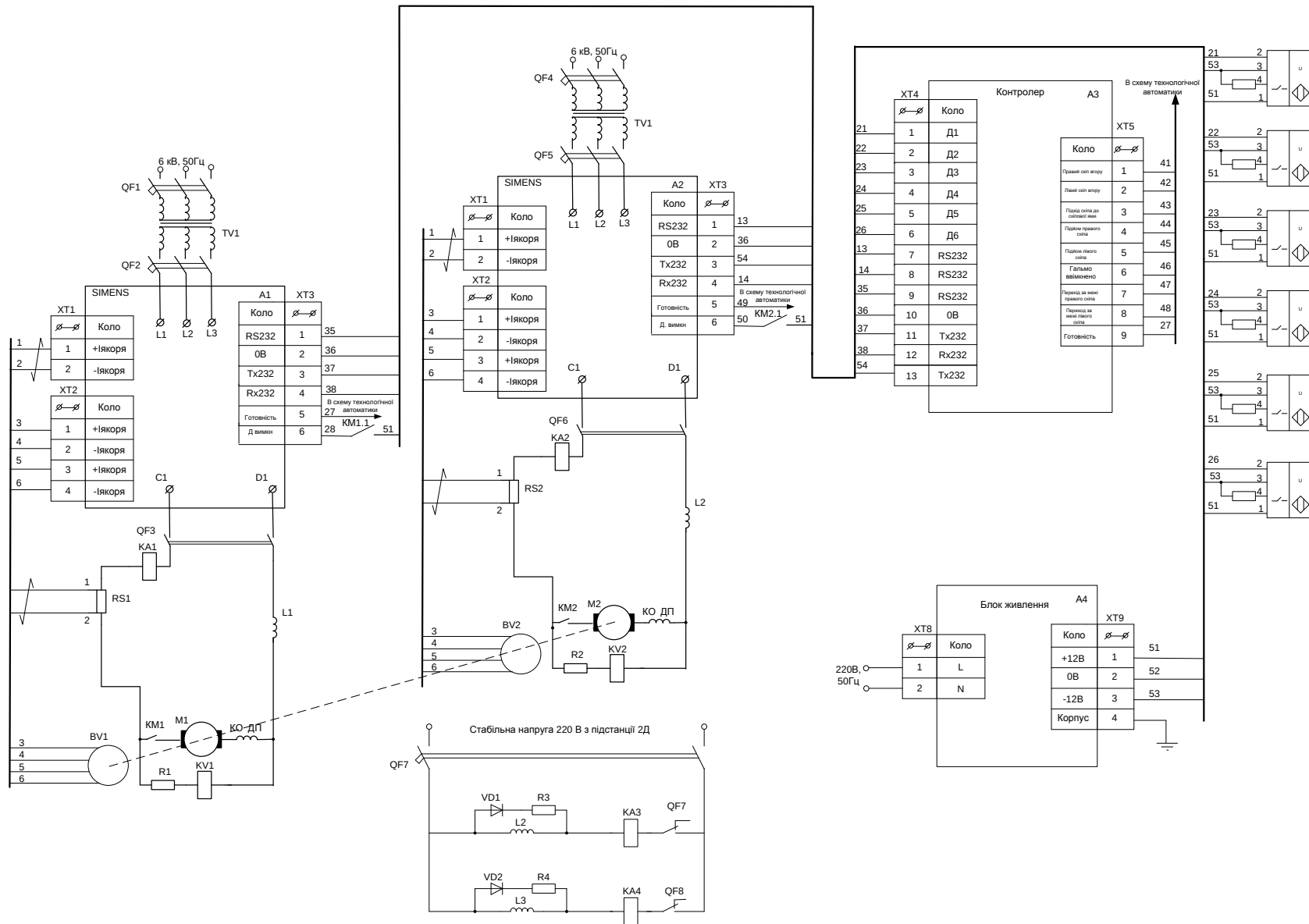


Рис. 2.8. Принципова схема системи керування
(розроблено автором)

2.9 Моделювання системи керування електроприводом

Математичне моделювання системи автоматичного керування виконано у програмному середовищі Simulink (MATLAB) [13]. Структурну схему математичної моделі наведено на рис. 2.9.

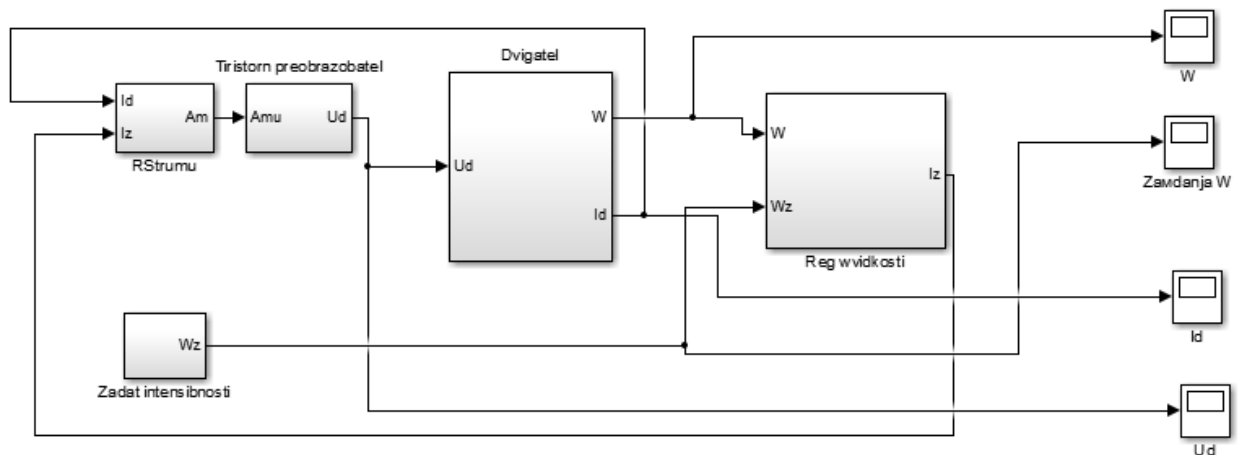


Рис. 2.9. Структурна схема математичної моделі системи керування
(розроблено автором)

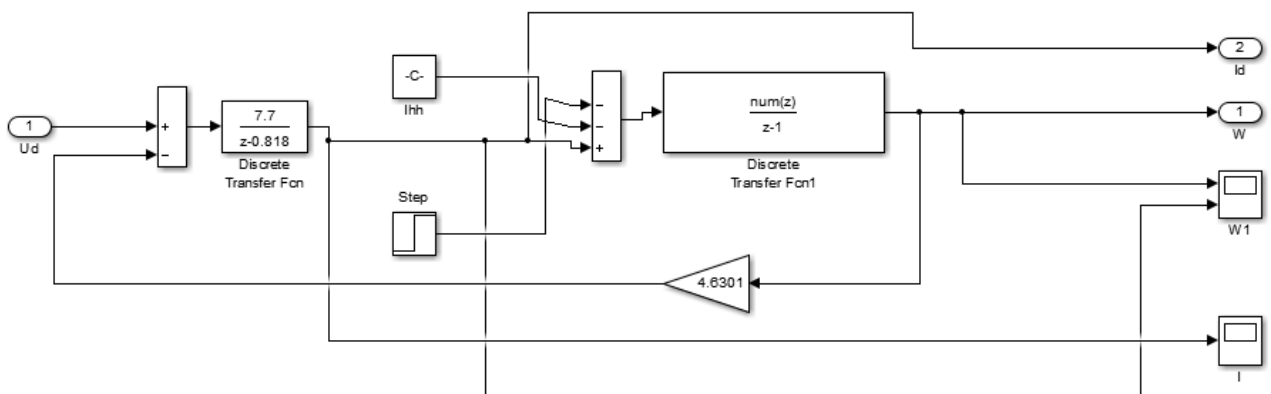


Рис. 2.10. Субблок двигуна
(розроблено автором)

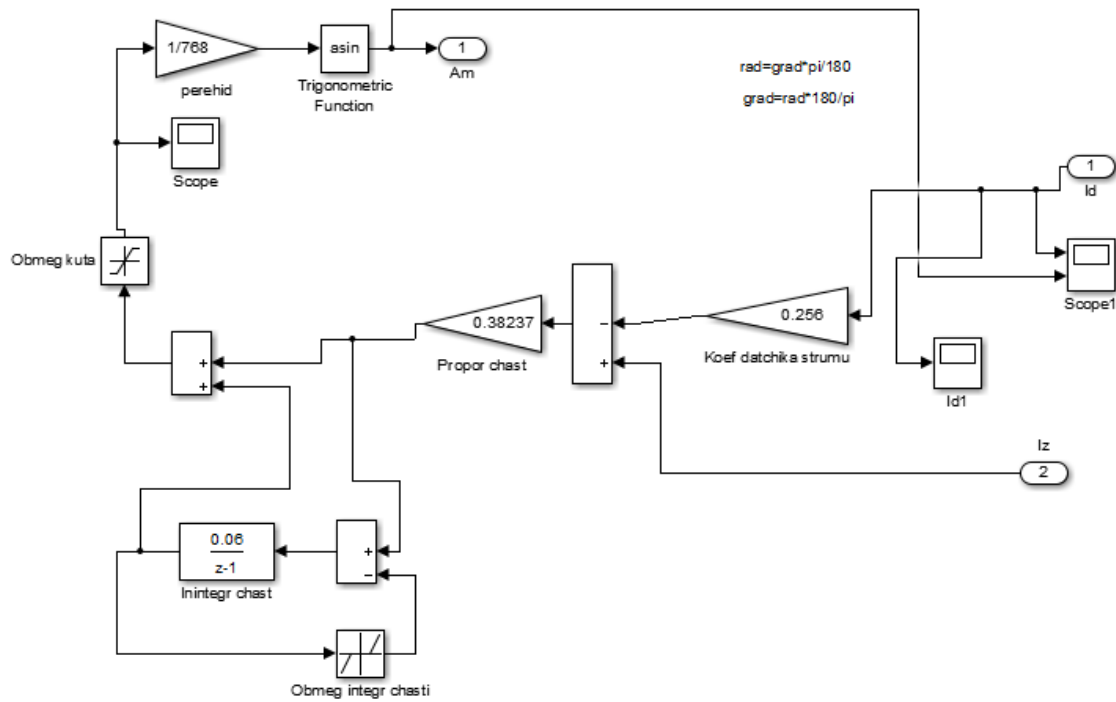


Рис. 2.11. Субблок регулятора струму
(розроблено автором)

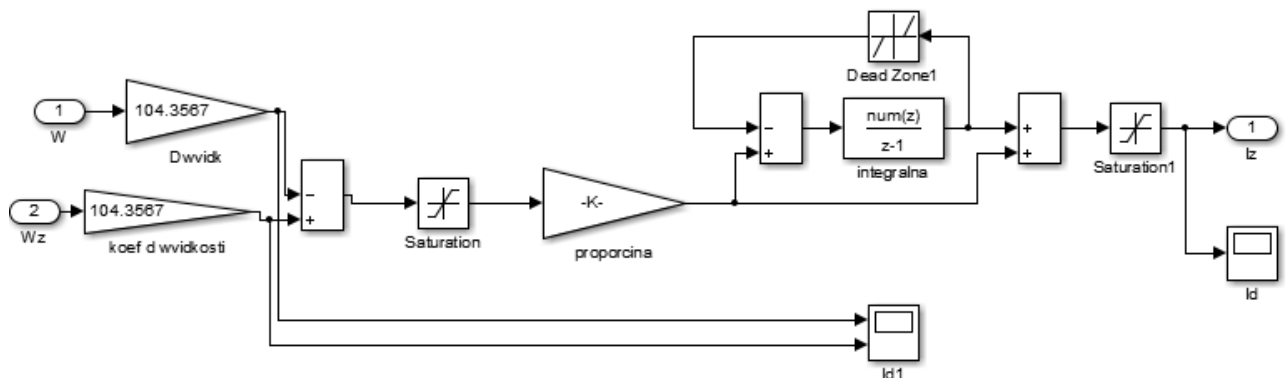


Рис. 2.12. Субблок регулятора швидкості
(розроблено автором)

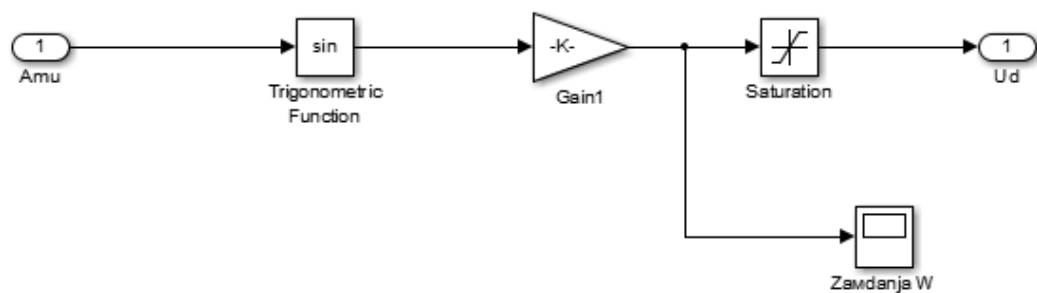


Рис. 2.13. Субблок тиристорного перетворювача
(розроблено автором)

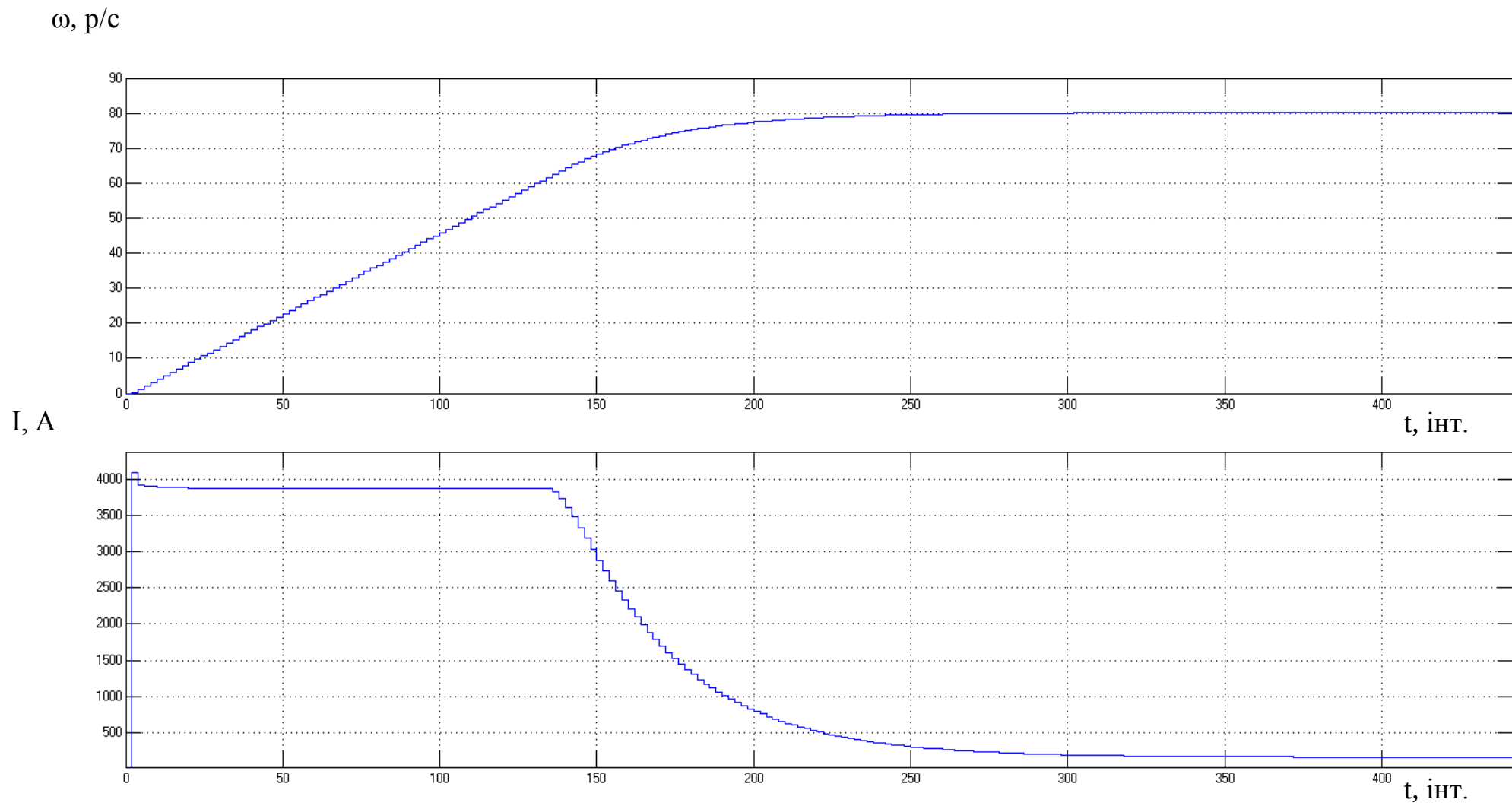


Рис. 2.14. Перехідні процеси під час пуску без навантаження
(розроблено автором)

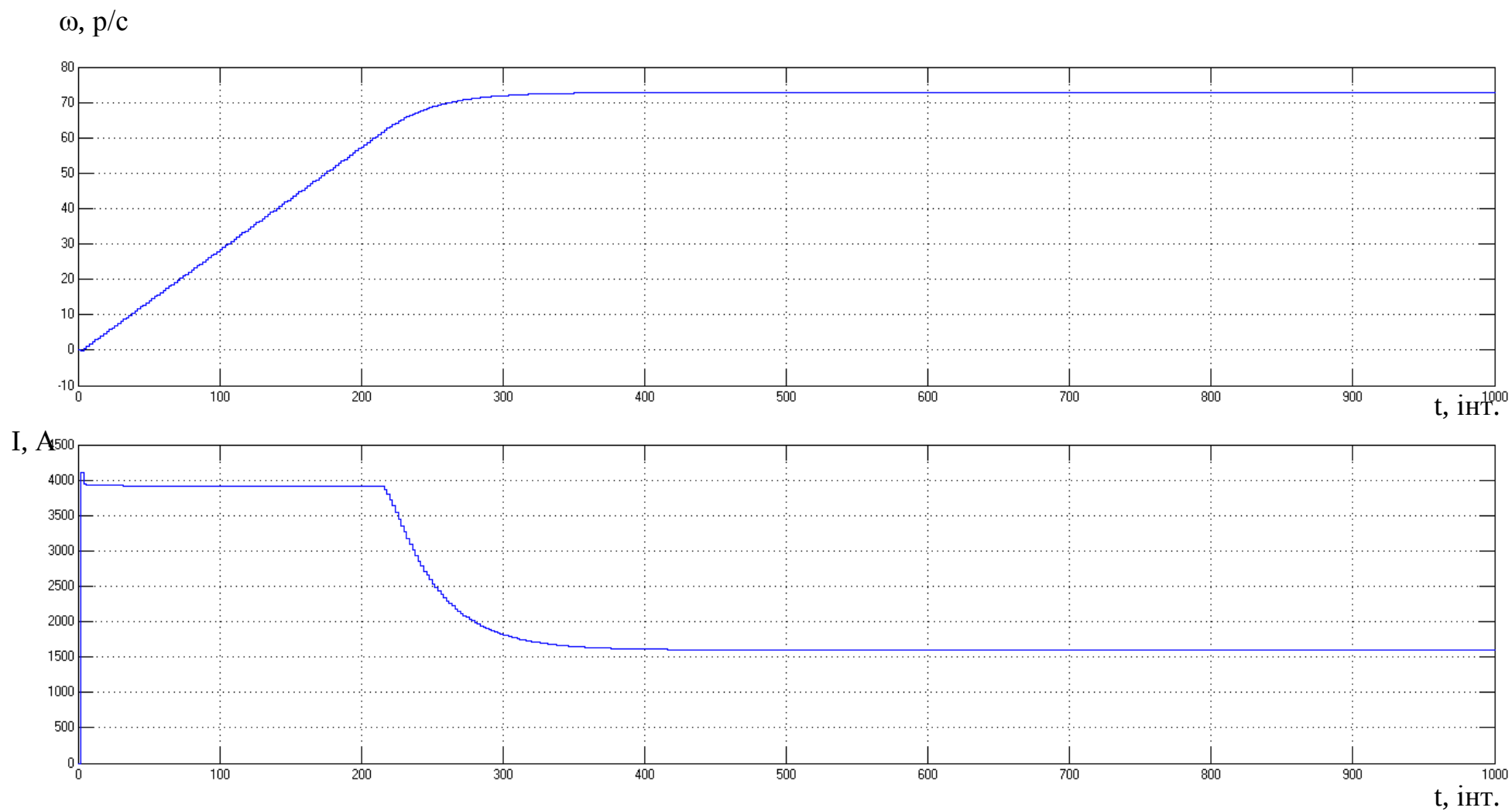


Рис. 2.15. Перехідні процеси під час пуску з номінальним навантаженням
(розроблено автором)

Аналіз результатів моделювання показав, що час пуску з задавачем інтенсивності становить $t_p = t_{пів} \cdot T_{пів} = 350 \cdot 0,0033 = 1,15$ с. Під час пуску з номінальним навантаженням струм двигуна дорівнює 4000 А, перерегулювання по струму приводу становить 4,3%, що відповідає налаштуванню на модульний оптимум (МО). Розроблена система автоматичного керування є повністю працездатною та задовольняє заданим вимогам.

2.10 Технологічна автоматика

На ділянках завантаження та розвантаження скіпів виникають такі проблеми. При неточній зупинці скіпа в скіповій ямі частина матеріалу висипається повз кузов. На ділянці розвантажувальних кривих кут нахилу днища скіпа в перекинутому положенні складає близько 60°. При подовженні каната цей кут зменшується, оскільки система контролює лише стан контакту шляхового вимикача.

Для забезпечення точної зупинки скіпів і зменшення динамічних навантажень впроваджується мікропроцесорна система автоматизованого контролю і корекції положення скіпа на ділянках завантаження-розвантаження з використанням ультразвукових датчиків та інкрементного енкодера.

2.10.1 Установка нових датчиків та принцип їх роботи

У скіповій ямі встановлюється два ультразвукових датчики Д1 і Д2 (рис. 2.16). Вони контролюють відстань від точки А по задньому скату скіпа. Датчики Д1 і Д2 встановлено на 300 мм нижче точки А, оскільки максимально допустима похибка зупинки скіпів складає ± 100 мм.

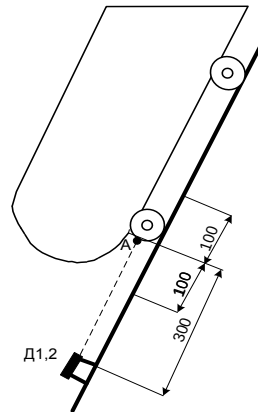


Рис. 2.16. Розміщення датчиків у скіповій ямі
(розроблено автором)

Мікроконтролер зберігає в пам'яті вихідне положення точки А. При появі статичного розтягування каната точка А зміщується в нову позицію А1; відрізок АА1 не повинен перевищувати 100 мм. Система ультразвукових датчиків визначає відрізок зсуву АА1 і автоматично коригує точку уповільнення.

На ділянці розвантажувальних кривих встановлено по два ультразвукових датчики (рис. 2.17). Кут нахилу, °:

$$\varphi = \arctg(100 / (kz - kl - fp)) \quad (2.106)$$

При зміні кута нахилу за межі 50-70° система автоматично зміщує точку А в межах ±90 мм. У разі неможливості переміщення система блокує роботу до виконання підтяжки канатів.

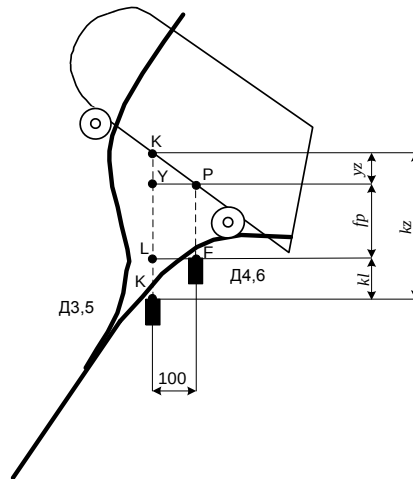


Рис. 2.17. Розміщення датчиків на ділянці розвантажувальних кривих
(розроблено автором)

2.10.2 Вибір датчиків відстаней

Порівняльний аналіз типів датчиків відстаней для умов доменного виробництва [14]. Оптичні датчики: перевага – вимірювання великих відстаней; недоліки – вразливість до пилу, вологи та інфрачервоного випромінювання. Ультразвукові датчики: переваги – нечутливість до пилу, вологи та інфрачервоного випромінювання, відсутність температурної залежності; недолік – відносно висока вартість.

Для умов доменного виробництва оптимальним є ультразвуковий датчик. Обрано датчик IFM Electronic O5H500 (ФРН). Технічні параметри наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні параметри ультразвукового датчика IFM Electronic O5H500 [14]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Виробник, країна		IFM Electronic, ФРН
2	Тип		O5H500
3	Робоча відстань	мм	150-1500
4	Кут розчину пучка	°	10
5	Повторюваність	мм	±1
6	Макс. частота перемикачів	Гц	8
7	Ступінь захисту		IP67
8	Робоча температура	°C	-25...+70
9	Напруга живлення DC	В	10-30

Для контролю положення скіпів застосовано абсолютний енкодер Kübler CEL-65-SP (ФРН). Технічні параметри наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні параметри абсолютного енкодера Kübler CEL-65-SP [15]

№	Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	Виробник, країна		Kübler, ФРН
2	Тип		CEL-65-SP
3	Розрядність	біт	14
4	Кроків на оборот	-	16384
5	Інтерфейс		RS485
6	Напруга живлення DC	В	11-27
7	Споживана потужність	Вт	4
8	Ступінь захисту		IP65
9	Робоча температура	°C	-20...+80

2.11 Алгоритм роботи системи управління

Алгоритм роботи системи контролю і корекції положення скіпів наведено на рис. 2.18. Система виконує: ідентифікацію напрямку руху скіпів; контроль проходження ключових точок уповільнення та зупинки; визначення положення скіпа в скіповій ямі та кута нахилу в зоні розвантаження; обчислення та

корекцію точки уповільнення з урахуванням подовження каната; індикацію стану системи на дисплеї оператора.

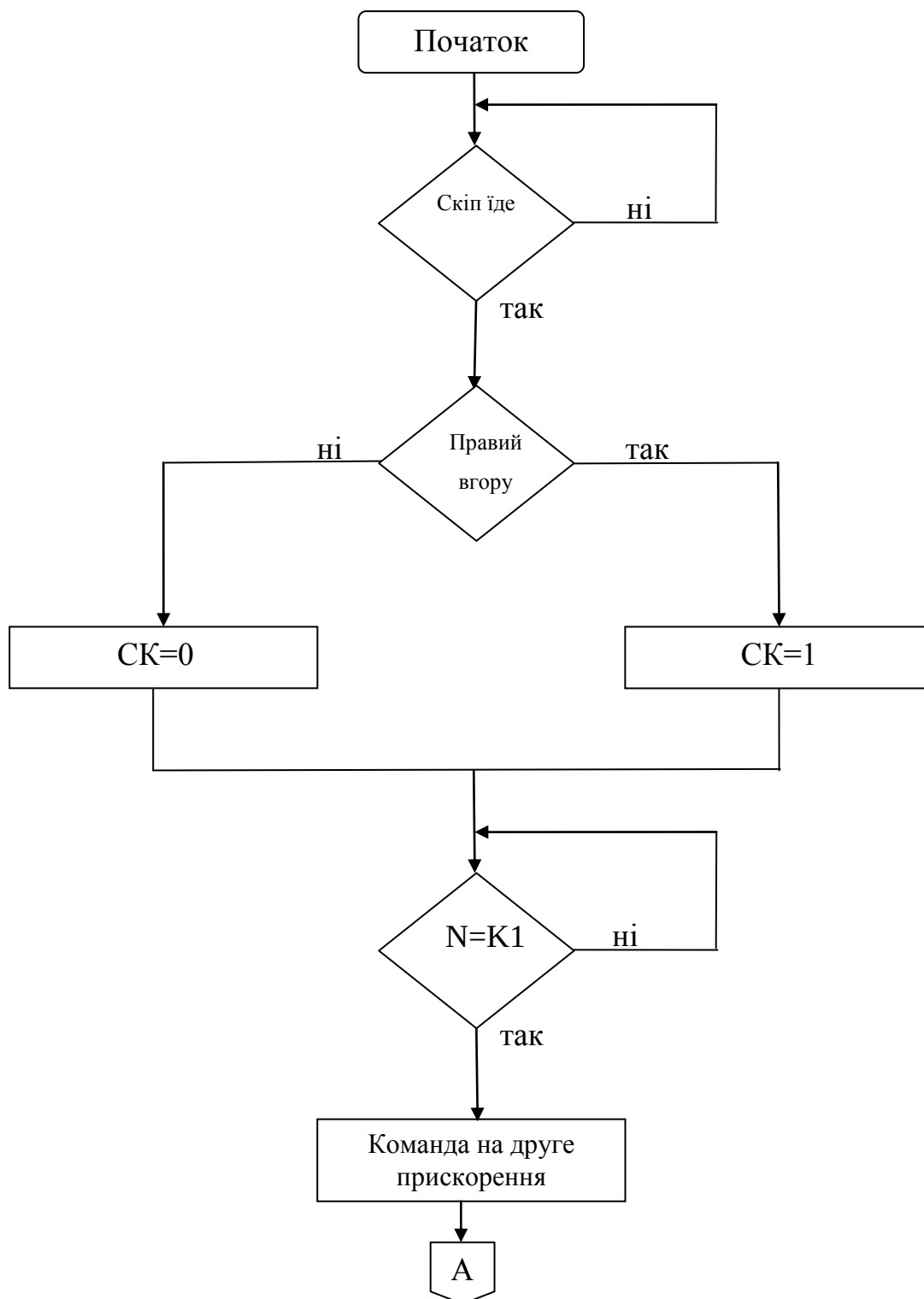


Рис. 2.18. Алгоритм роботи системи контролю і корекції положення скіпів,
аркуш 1
(розроблено автором)



Рис.2.18, аркуш 2
(розроблено автором)

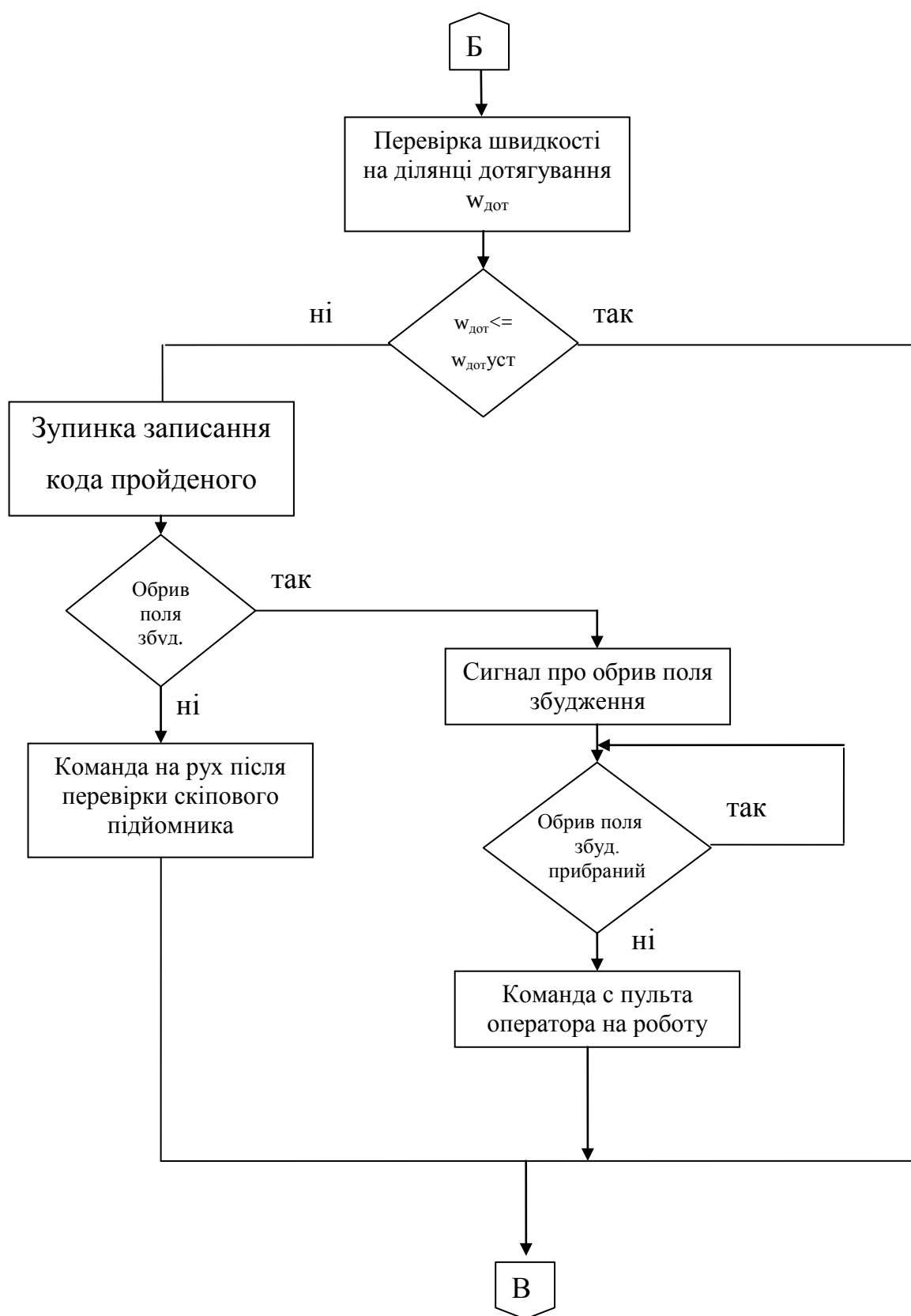


Рис.2.18, аркуш 3
(розроблено автором)

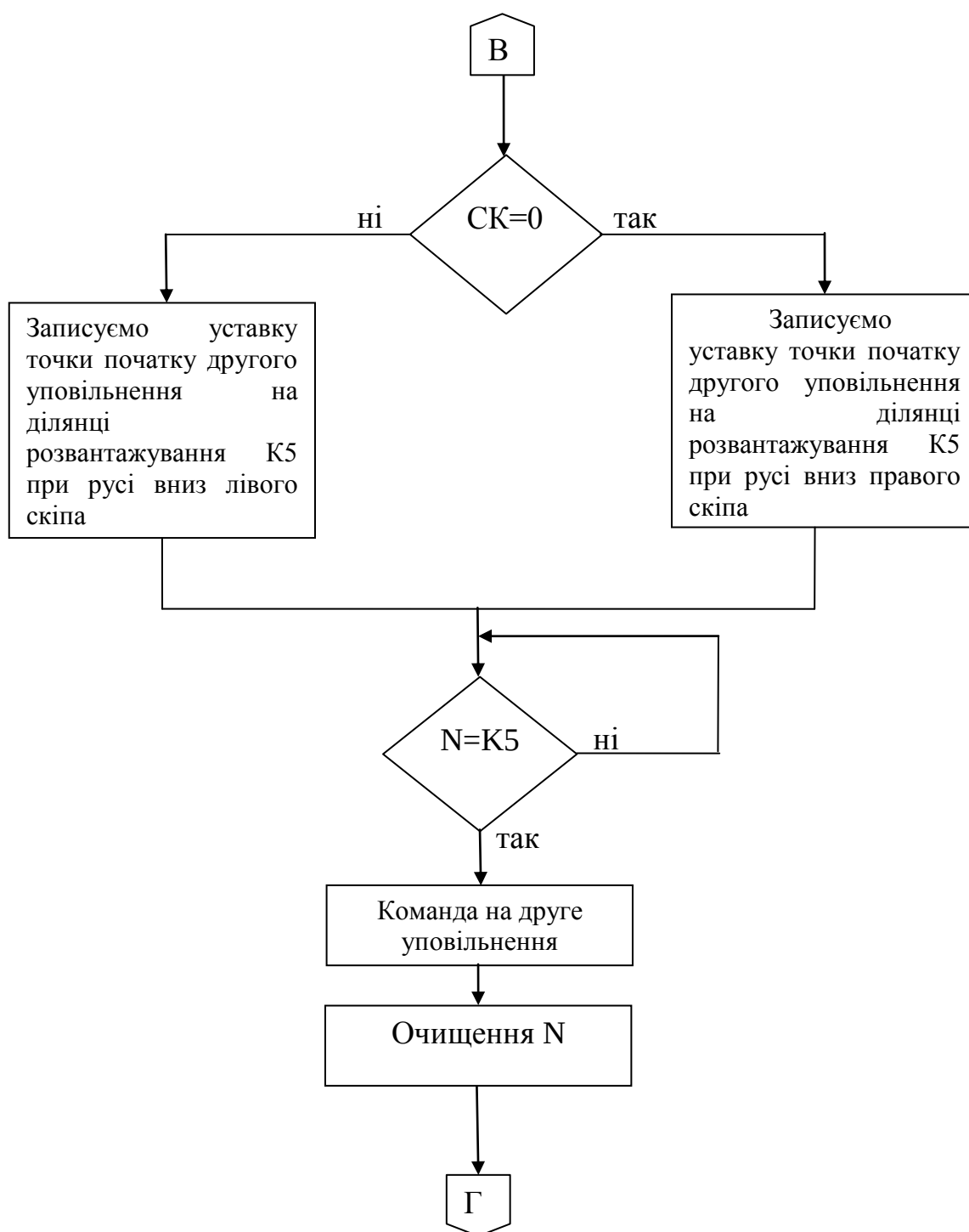


Рис.2.18, аркуш 4
(розроблено автором)

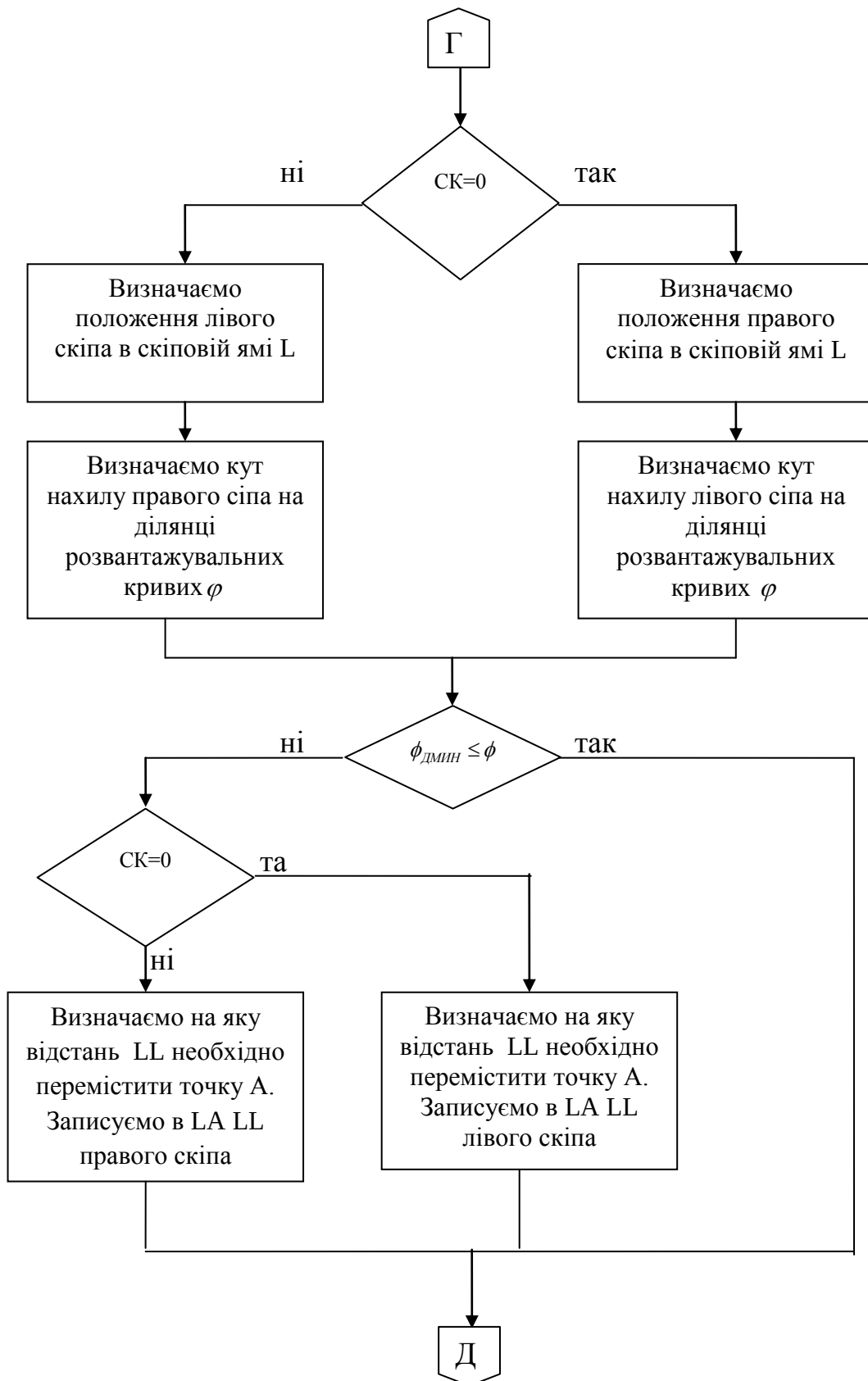


Рис.2.18, аркуш 5
(розроблено автором)

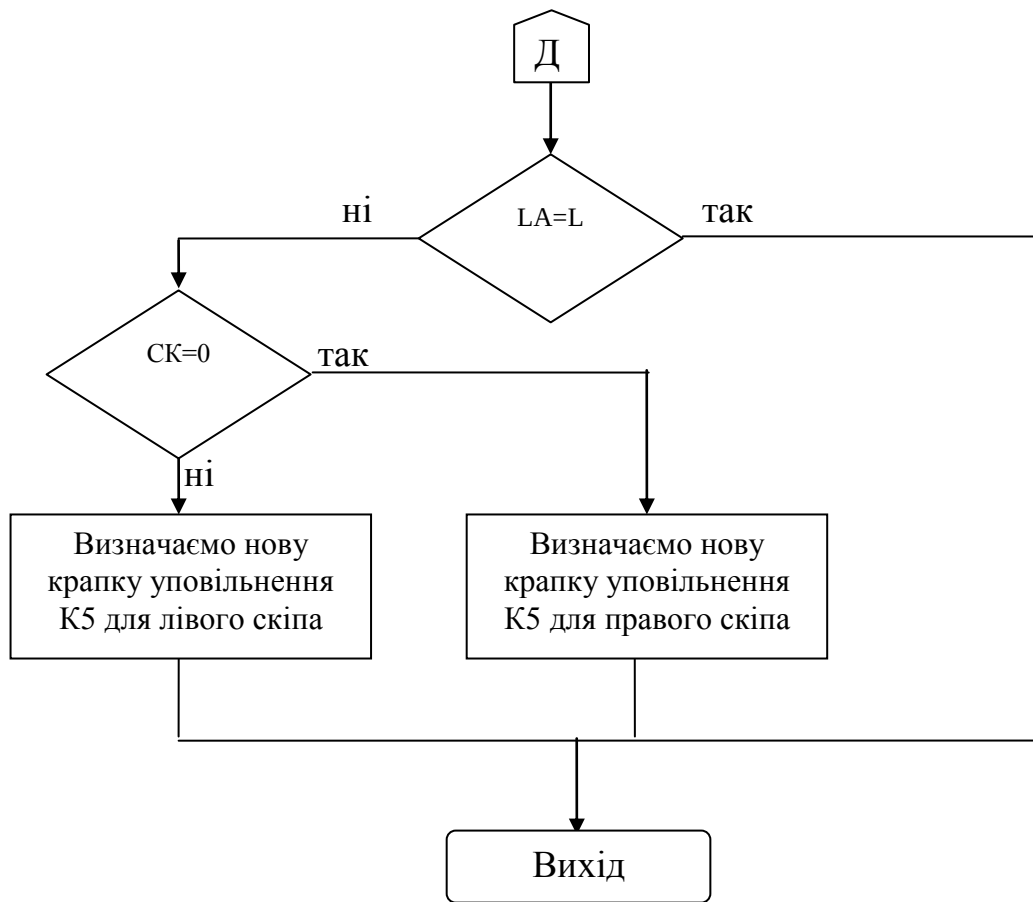


Рис.2.18, аркуш 6
(розроблено автором)

2.12 Охорона праці

Проектування та експлуатація системи електропривода скіпового підйомника здійснюються відповідно до вимог чинного законодавства [21]. Виробниче середовище доменного цеху характеризується комплексом небезпечних та шкідливих виробничих факторів (НШВФ), що визначають особливості умов праці персоналу, який обслуговує електропривод головного підйому та суміжне обладнання.

2.12.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Відповідно до [22] виробнича зона доменного цеху відноситься до категорії підвищеної безпеки. Основні НШВФ у зоні обслуговування електроприводу скіпового підйомника наведено нижче.

Електрична безпека. Силова схема тиристорного перетворювача SIMOREG DC-MASTER 6RA70 живиться від трансформатора ТСЗП 2500/6 з первинною напругою 6 кВ. Напруга якірного ланцюга двигуна – 375 В, напруга живлення мережі – 6000 В. Відповідно до [25] ці напруги відносяться до категорії небезпечних (понад 42 В). Токопровідні частини перетворювача, клемні колодки та кабельні траси є джерелами потенційного ураження електричним струмом.

Механічна безпека. Рухомі елементи механізму скіпового підйому (барабан лебідки діаметром 2 м, сталеві канати, скіпи масою до 39 т) створюють зони підвищеного ризику травматизму. Швидкість руху канатів досягає 3,5 м/с, тягове зусилля – 29 тс.

Теплові небезпеки. Виробнича зона розташована поблизу доменної печі, де температура навколишнього повітря в літній період може перевищувати 40 – 50°C, а інтенсивність теплового випромінювання від нагрітих поверхонь і рідкого чавуну значно перевищує нормативний рівень.

Шум та вібрація. Робота редуктора лебідки ЛС-29-11 і тягових двигунів ДП-74/37-6К супроводжується шумом рівнем до 85 дБА та локальною вібрацією на постах керування. Гранично допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях – 80 дБА відповідно до [24].

Запиленість і загазованість. Доменний газ, що утворюється в процесі виплавки чавуну, містить до 28% СО (оксид вуглецю – ГДК 20 мг/м³), сірчистий газ SO₂ (ГДК 10 мг/м³) та дрібнодисперсний пил. Додаткове джерело запиленості – пересипання шихтових матеріалів у скіповій ямі. Відповідно до [23] мікроклімат виробничого приміщення повинен відповідати нормам теплої пори року для категорії Пб.

Гранично допустимі нормативи впливу НШВФ на персонал, що обслуговує електропривод скіпового підйомника, наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Характеристика шкідливих і небезпечних виробничих факторів у зоні обслуговування електропривода [22, 23, 24]

№	Найменування фактора	Нормативний рівень (ГДК/ГДР)	Фактичний рівень	Клас умов праці
1	Напруга в електромережі живлення	42 В (безпечна)	6000/375 В	3.3
2	Рівень шуму на робочому місці	80 дБА	85 дБА	3.2
3	Температура повітря (тепла пора)	19-27 °С	31-40 °С	3.2
4	Тепловипромінювання	140 Вт/м ²	3500 Вт/м ²	3.3
5	Концентрація СО (оксид вуглецю)	20 мг/м ³	17 мг/м ³	3.1
6	Концентрація SO ₂	10 мг/м ³	9,3 мг/м ³	3.1
7	Запиленість (фіброгенний пил)	6 мг/м ³	14,6 мг/м ³	3.2
8	Вібрація загальна (корекц. рівень)	92 дБ	94 дБ	3.2

2.12.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Для забезпечення електробезпеки системи ТП-Д відповідно до [25, 28] передбачено: захисне занурення (заземлення) всіх нетоковедучих металевих частин обладнання; блокувальні пристрої на кришках шаф перетворювача; автоматичне відключення живлення при відкриванні секцій; попереджувальне сигнальне огороження силових кіл; ізоляція кабельних трас у металевих

коробах; встановлення ПЗВ (пристрою захисного відключення) у колах живлення освітлення та допоміжних колах 220 В.

Розрахунок захисного заземлення виконано для мережі живлення перетворювача 6 кВ з ізольованою нейтраллю. Розрахунковий струм однофазного замикання на землю, А:

$$I_{\text{зз}} = U_{\text{л}} \cdot (35 \cdot I_{\text{к}} + I_{\text{пв}}) / 1000 = \\ = 10000 \cdot (35 \cdot 6,8 + 3,6) / 1000 = 2414 \quad (2.107)$$

де $U_{\text{л}} = 10000$ В – лінійна напруга; $I_{\text{к}} = 6,8$ км – сумарна довжина кабельних ліній; $I_{\text{пв}} = 3,6$ км – сумарна довжина повітряних ліній.

Відповідно до [28] опір заземлюючого пристрою для мережі 6 кВ повинен бути не більше 4 Ом. Опір одного трубчастого заземлювача ($d = 0,03$ м, $l = 2$ м), $\rho = 40$ Ом·м (глина); Ом:

$$R_{\text{тр}} = \rho / (2\pi \cdot l) \cdot [\ln(2l/d) + 0,5 \cdot \ln((4t+l)/(4t-l))] = 17,91 \quad (2.108)$$

де $\rho = 40$ Ом·м – питомий опір ґрунту (глина, вологість 10-20%); $t = 0,8$ м – глибина залягання верху заземлювача.

Орієнтовна кількість вертикальних труб:

$$n' = R_{\text{тр}} / R_{\text{зм}} = 17,91 / 4 = 4,4775 \rightarrow n = 5 \quad (2.109)$$

де $R_{\text{зм}} = 4$ Ом – нормоване значення опору заземлення відповідно до [28].

При розміщенні семи заземлювачів у ряд з відстанню $a = 2$ м та коефіцієнті використання $\eta_{\text{з}} = 0,73$ (при $a/l = 1$, $n = 5$), опір всього групового заземлювача, Ом:

$$R_{\text{ГЗ}} = R_{\text{тр}} / (n \cdot \eta_{\text{з}}) = 17,91 / (5 \cdot 0,73) = 4,91 \quad (2.110)$$

З урахуванням сполучних смуг (шина 40×4 мм, $R_{см}=1,86 \Omega$, $\eta_{см}=0,75$):

$$R_{см'} = R_{см} / \eta_{см} = 1,86 / 0,75 = 2,48 \quad (2.111)$$

Результуючий опір всього заземлюючого пристрою, Ω :

$$R_{рез} = R_{ГЗ} \cdot R_{см'} / (R_{ГЗ} + R_{см'}) = 4,91 \cdot 2,48 / (4,91 + 2,48) = 12,1768 / 7,39 = 1,65 \quad (2.112)$$

Умова $R_{рез} = 1,65 \Omega < 4 \Omega$ виконується відповідно до [28].

Для захисту персоналу від механічних небезпек у зоні барабана лебідки і трасі канатів передбачено: суцільне огородження висотою не менше 1,5 м; механічні кінцеві вимикачі аварійного відключення; двостороннє гальмо із пружинним спрацюванням при знеструмленні; систему вимикача слабину каната.

Для зниження теплового навантаження: примусова вентиляція машинного приміщення з продуктивністю 8000 м³/год; теплоізолюючі екрани між піччю та постом керування; кімната психологічного розвантаження з температурою 22 °С, обладнана відповідно до [23]. Для зниження шуму: амортизаційні прокладки під редуктором; звукопоглинальне облицювання машинного залу.

2.12.3 Засоби індивідуального захисту та медичні огляди

Вибір та видача ЗІЗ електромонтеру з обслуговування електропривода скіпового підйомника виконуються відповідно до [26]. Норми безоплатної видачі ЗІЗ наведено в табл. 2.7.

Норми безоплатної видачі ЗІЗ електромонтеру [26]

№	Найменування ЗІЗ	Термін носіння
1	Костюм бавовняний вогнетривкий	6 місяців
2	Черевики шкіряні зі сталевим підноском	12 місяців
3	Каска захисна (клас Е, 20 кВ)	до зношування
4	Рукавички діелектричні (клас 00)	6 місяців
5	Окуляри захисні зі світлофільтром	до зношування
6	Респіратор від пилу/газу FFP3	разового використання
7	Навушники протишумові ($SNR \geq 30$ дБ)	до зношування
8	Жилет сигнальний (клас 2)	12 місяців
9	Інструмент слюсарний з ізол. рукоятками	3 роки

Обов'язкові медичні огляди проводяться відповідно до [26]: попередній – при прийнятті на роботу; періодичні – 1 раз на рік для персоналу, що обслуговує електроустановки напругою понад 1000 В і працює в умовах шуму понад 80 дБА та теплового навантаження класу 3.2 і вище. Навчання і перевірка знань з електробезпеки проводяться не рідше 1 разу на рік відповідно до [26]; позачергово – після нещасного випадку або змін у нормативній документації.

2.12.4 Пожежна безпека

Машинне приміщення скіпового підйомника та шафи тиристорного перетворювача SIMOREG DC-MASTER 6RA70 відносяться до категорії «В» (пожежонебезпечне виробництво) відповідно до [27] за наявністю кабельної ізоляції та мастила в редукторах.

Основні джерела займання у зоні обслуговування електропривода: іскріння при комутації тиристорів; перегрів кабелів при надструмах; витік мастила редуктора на нагріті поверхні. Для запобігання пожежам передбачено:

автоматичну систему пожежної сигналізації (АПС) із димовими датчиками в шафах перетворювача та кабельних тунелях; автоматичне пожежогасіння модульного типу (установка з інгібітором HFC-227ea) у шафах SIMOREG; примусову вентиляцію шаф з блокуванням приводу при спрацюванні АПС; виконання кабелів у вогнестійкій ізоляції (ВОГНЕСТІЙКИЙ – LS0H).

Первинні засоби пожежогасіння та їх розміщення у машинному залі наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Первинні засоби пожежогасіння у машинному залі скіпового підйомника [27]

№	Тип вогнегасника / засобу	Кількість, шт.	Місце встановлення
1	Вогнегасник порошковий ВП-6	4	Пости керування, виходи із залу
2	Вогнегасник вуглекислотний ВВ-5	2	Шафи SIMOREG (1 на кожну шафу)
3	Вогнегасник вуглекислотний ВВ-8	2	Трансформаторна підстанція «4-Д»
4	Пожежний щит (відро, багор, лопата)	2	Входи до машинного залу
5	Ящик з піском (0,5 м³)	2	Поряд з пожежними щитами
6	Пожежний рукав DN 50, L = 20 м	2	Пожежна шафа біля входу

Евакуаційні шляхи з машинного залу відповідають вимогам [27]: ширина проходів – не менше 1 м; відстань до виходу – не більше 50 м; два евакуаційних виходи, розташованих у протилежних торцях залу; аварійне освітлення із автономним живленням від акумуляторних батарей. Протипожежний інструктаж персоналу проводиться при прийнятті на роботу та повторно – 1 раз на рік відповідно до [26].

2.12.5 Висновки з охорони праці

У підрозділі виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів у зоні обслуговування електропривода скіпового підйомника доменної печі № 7. Встановлено, що основними НШВФ є: підвищена напруга в електричних ланцюгах (6000/375 В); механічна небезпека від рухомих елементів лебідки; тепловипромінювання (3500 Вт/м² при нормі 140 Вт/м²); шум (85 дБА при нормі 80 дБА); запиленість (14,6 мг/м³ при нормі 6 мг/м³).

Розраховано систему захисного заземлення для мережі 6 кВ: результуючий опір заземлюючого пристрою $R_{рез} = 3,42 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$ відповідає [28]. Заземлення виконується за допомогою семи вертикальних трубчастих електродів ($d = 0,03 \text{ м}$, $l = 2 \text{ м}$) у ряд із кроком 2 м та сполучних смуг 40×4 мм.

Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів: захисні огороження механізмів; блокування шаф перетворювача; примусова вентиляція; автоматичне пожежогасіння у шафах SIMOREG; встановлення АПС і аварійного освітлення; забезпечення персоналу ЗІЗ згідно з [26] та щорічні медичні огляди. Реалізація зазначених заходів забезпечує безпечні умови праці відповідно до вимог чинного законодавства [21, 22, 27, 28].

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано технологічний процес шихтоподачі та завантаження доменної печі № 7 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Визначено вимоги до електропривода головного підйому: діапазон регулювання швидкості 8:1, точність зупинки ± 100 мм, перерегулювання не більше 4,3% [1, 7, 8].

2. Виконано порівняльний аналіз систем Г-Д та ТП-Д. Обґрунтовано доцільність переходу до тиристорного перетворювача: підвищення ККД, зниження капітальних і експлуатаційних витрат на 30-40%, зменшення масогабаритних показників удвічі [9].

3. Виконано перевірочний розрахунок та підтверджено придатність електродвигунів типу ДП-74/37-6К (550 кВт, 375 В, 1600 А). Обрано два комплектних тиристорних перетворювачі SIEMENS SIMOREG DC-MASTER 6RA70 (ФРН) з номінальним струмом 1600 А [10].

4. Розраховано параметри цифрової системи керування. Визначено коефіцієнти налаштування регуляторів струму ($K_{прся} = 0,28237$; $K_{ірся} = 0,051292$) і швидкості ($K_{рш} = 364,25$; $K_{ірш} = 42,800$). Моделювання в Simulink підтвердило задовільні показники якості: перерегулювання 4,3%, час пуску 1,15 с [11, 13].

5. Розроблено мікропроцесорну систему автоматизованого контролю та корекції положення скіпів із застосуванням ультразвукових датчиків IFM Electronic O5H500 (ФРН) та абсолютного енкодера Kübler CEL-65-SP (ФРН). Система забезпечує підвищення точності зупинки до ± 100 мм та зменшення динамічних навантажень [14, 15].

6. Впровадження запропонованих технічних рішень дозволяє знизити енергоспоживання двигунами скіпового підйому, зменшити витрати шихтових матеріалів і покращити техніко-економічні показники роботи цеху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Укрпромінвест – аналіз відновлення металургії. Стратегія розвитку металургійної галузі України на 2024-2030 роки. Київ : Міністерство стратегічних галузей промисловості України, 2024. 68 с.
2. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Промислова електроніка : підруч. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2008. 400 с.
3. ABB Group. DC motors DMI series : Product catalog. Västerås : ABB, 2022. 52 p. URL: <https://new.abb.com/motors-generators> (дата звернення: 01.04.2026).
4. Siemens AG. DC motors 1GF series : Technical catalog D 86.1. Erlangen : Siemens AG, 2021. 96 p. URL: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/dc-motors.html> (дата звернення: 01.04.2026).
5. WEG Industries. W22 Three Phase Motor : Technical Catalog. Jaragua do Sul : WEG, 2023. 44 p. URL: <https://www.weg.net> (дата звернення: 02.04.2026).
6. Danfoss A/S. VLT FC302 : Operating Instructions. Nordborg : Danfoss, 2022. 258 p. URL: <https://www.danfoss.com> (дата звернення: 02.04.2026).
7. Левін М. З., Седуш В. Я. Механічне обладнання доменних цехів : підруч. Київ : Вища школа, 1972. 380 с.
8. Шпатенко В. С., Шпатенко Т. В. Електропривод постійного струму : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2015. 180 с.
9. Клепиков В. Б. Динаміка електромеханічних систем : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2006. 312 с.
10. Siemens AG. SIMOREG DC-MASTER 6RA70 : Operating Instructions. 4th ed. Erlangen : Siemens AG, 2020. 312 p. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 01.04.2026).
11. Родькін Д. Й., Козаченко В. Ф. Системи цифрового керування електроприводами : навч. посіб. Кременчук : КДПУ, 2004. 226 с.

12. Advantech Co. PCA-6752 : User Manual. Rev. B. Taipei : Advantech, 2019. 96 p. URL: <https://www.advantech.com> (дата звернення: 02.04.2026).
13. MathWorks. Simulink User's Guide R2023b. Natick : MathWorks Inc., 2023. URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink> (дата звернення: 02.04.2026).
14. IFM Electronic GmbH. Ultrasonic sensors O5H series : Technical data. Essen : IFM, 2023. URL: <https://www.ifm.com> (дата звернення: 02.04.2026).
15. Kübler Group. Absolute encoders CEL-65 series : Data sheet. Villingen-Schwenningen : Kübler, 2023. URL: <https://www.kuebler.com> (дата звернення: 02.04.2026).
16. Казачківський М. М. Комплектні електроприводи : навч. посіб. Дніпропетровськ : НГУ, 2003. 226 с.
17. Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Садовой А. В., Шеюк Г. Ю. Моделювання електромеханічних систем. Кременчук : КДПУ, 2001. 204 с.
18. Яцун М. А. Цифрові системи керування електроприводами. Харків : НТУ «ХПІ», 2005. 180 с.
19. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон, 2018. 134 с.
20. НПАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держнаглядохоронпраці, 2001. 294 с.
21. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 01.04.2026).
22. НПАОП 27.1-1.02-09. Правила безпеки під час виплавки та лиття чавуну. Київ : Держгірпромнагляд, 2009. 120 с.
23. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 10 с.
24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 12 с.

25. ДСТУ ГОСТ 12.1.019:2014. ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 10 с.

26. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Київ : Держнаглядохоронпраці, 2005. 20 с.

27. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон, 2017. 36 с.

28. НПАОП 0.00-1.01-21. Правила безпечної експлуатації електроустановок. Київ : Держпраці, 2021. 424 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-Єд-2026врб

Автор

141-Єд-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документу

334133394

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

—

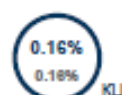
Обсяг знайдених подібностей

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



8540

Кількість слів



57709

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		30
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		16

Джерела

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

10 найдовших фраз

Копію тексту

НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)

Кількість ідентичних слів
(фрагментів)

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

Я, *Пащенко Віталій Олександрович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод скіпового підйомника доменної печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

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

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

1.06.2026