

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

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Вовка Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Електропривод переміщення моста грейферного крана в умовах РЗФ-1 ПАТ

«Інгулецький ГЗК»

(повна назва теми)

за матеріалами з РЗФ- 1 ПАТ " ІнГЗК"

(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 р. № 384-ст

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло

Ініціали, прізвище

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

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«___» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вовка Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод переміщення моста грейферного крана в умовах РЗФ-1 ПАТ «Інгулецький ГЗК»

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: вантажопідйомність = 20 т; вага крана (повна) = 68,5 т; діаметр ходового колеса = 710 мм; діаметр цапф ходового колеса = 200 мм; максимальна швидкість пересування крана = 1,6 м/с; ККД механізму = 0,85. Привод повинен мати відповідну твердість і механічну міцність, щоб витримувати навантаження; важливо обмежити прискорення до допустимих меж, щоб уникнути ударів, пробуксовки і інших негативних явищ при русі механізмів; привод повинен бути здатний робити реверс і працювати як у руховому, так і в гальмовому режимах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Аналітична частина. Надати інформацію про конструкцію та характеристики грейферного крана. Вимоги до електроприводу. Дослідження приводу пересування моста крана в режимах противключення. Аналіз існуючих систем електроприводу. Вибір двигуна і перетворювача. Розрахунок параметрів схеми заміщення АД, побудова швидкісних та механічних характеристик. 4.2 Основна частина. Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом. Розрахунок передатних функцій регуляторів. Моделювання

динамічних режимів системи електропривода. Розробка пристрою контролю й обліку роботи електроприводів крана. Розрахунок ТЕП. Розглянути заходи щодо пожежної безпеки, охорони праці при роботі в умовах збагачувальної фабрики, надати висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ВРБ.141.238-ст.07.К1 - Кінематична схема приводу пересування моста; ВРБ.141.238-ст.07.Е0.1 - Осцилограми перехідних процесів під час пересування мосту крана; ВРБ.141.238-ст.07.Е2 - Схема електрична функціональна; ВРБ.141.238-ст.07.Е1.1 - Схема електрична структурна; ВРБ.141.238-ст.07.Е0.2 - Графіки перехідних процесів по швидкості та струму; ВРБ.141.238-ст.07.Е1.2 - Схема електрична структурна системи захисту та обліку роботи крана; ВРБ.141.238-ст.07.Е3 - Схема електрична принципова керування приводом переміщення моста

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)

Вовк О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Рожненко Ж.Г.
(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	При м.
1	A3	ВРБ.141.238-см.07.К1			Кінематична схема приводу	1		
2					пересування моста			
3	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е0.1			Осцилограми перехідних	1		
4					процесів під час			
5					пересування мосту крана			
6	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е2			Схема електрична	1		
7					функціональна			
8	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е1.1			Схема електрична	1		
9					структурна			
10	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е0.2			Графіки перехідних			
11					процесів по швидкості та	1		
12					струму			
13	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е1.2			Схема електрична	1		
14					структурна системи захисту			
15					та обліку роботи крана			
16	A3	ВРБ.141.238-см.07.Е3			Схема електрична	1		
17					принципова керування			
18					приводом переміщення			
19					моста			
20								
21	A4	ВРБ.141.238-см.07.ПЗ			Пояснювальна записка	61		
22								
23								
					ВРБ.141.238-см.07.ВР			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод переміщення моста грейферного крана в умовах РЗФ-І ПАТ «Індулецький ГЗК» Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркуші
Розроб.		Вовк О.О.						
Пров.		Рожненко Ж.Г.					4	1
						ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА зр. ЕПА-23ск		
Н.контр.		Рожненко Ж.Г						
Затв.		Модло Є.О.						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: 61 сторінок, 21 рисунок, 17 таблиць, 24 використаних джерела.

Об'єкт дослідження - електропривод механізму пересування мосту грейферного крана в умовах закритого складу концентрату РЗФ-1 ПАТ «ІнГЗК».

Предмет дослідження - методи й засоби модернізації системи електрокерування механізму пересування мосту для підвищення надійності та ефективності роботи крана.

Мета роботи - розробка та обґрунтування системи електропривода змінного струму за схемою ПЧ-АД для забезпечення надійної й енергоефективної роботи грейферного крана.

Методи дослідження: аналіз навантажувальних характеристик і режимів роботи кранового обладнання; порівняльний аналіз існуючих систем електроприводу; математичне моделювання динамічних режимів у середовищі MATLAB; технічний розрахунок параметрів привода.

У роботі обґрунтовано переваги частотно-регульованого електропривода щодо механізму пересування мосту. На підставі навантажувальних діаграм і технологічних умов здійснено вибір перетворювача частоти та виконано розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна. Проведено синтез регуляторів векторної системи керування та верифікацію проєктних рішень засобами математичного моделювання.

Практичне значення результатів: розроблена система електропривода забезпечує суттєве зниження витрат електроенергії та скорочення кількості відмов обладнання грейферних кранів.

Ключові слова: грейферний кран, електропривод, математичне моделювання, пересування мосту, перетворювач частоти, векторне керування.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Загальні відомості про ПАТ «ІнГЗК»	10
1.2 Конструкція та технічні характеристики грейферного крана	11
1.3 Схеми керування електроприводами кранових механізмів.....	14
1.4 Вимоги до електроприводу	18
1.5 Дослідження приводу пересування мосту крана в режимах протівключення	19
1.6 Аналіз існуючих систем електроприводу.....	23
1.7 Вибір двигуна	24
1.8 Вибір силового перетворювача електроенергії.....	26
1.9 Розрахунок параметрів схеми заміщення АД, побудова швидкісних та механічних характеристик	27
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	32
2.1 Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом ...	32
2.2 Розробка структурної схеми керування електроприводом.....	32
2.3 Розрахунок базисних значень	35
2.4 Розрахунок передатних функцій регуляторів	36
2.4.1 Розрахунок регулятора струму	36
2.4.2 Розрахунок регулятора потоку.....	36
2.4.3 Розрахунок регулятора швидкості.....	36
2.4.4 Постійні часу	37
2.4.5 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків.....	37
2.5 Моделювання динамічних режимів роботи електропривода переміщення мосту крана	37
2.6 Пристрій контролю й обліку роботи електроприводів крана (МКО-ПК). 41	
2.7 Розробка структури системи	44
2.7.1 Технічні дані МКО-ПК.....	46

2.7.2 Організація обміну даними між краном і робочою станцією.....	46
2.7.3 Розробка алгоритмів	48
2.8 Склад основних технічних засобів	49
2.8.1 Радіомодем СВ-101	49
2.8.2 Блок живлення 50ДП	51
2.8.3 Вібровимірювачі.....	52
2.8.4 Стаціонарний лазерний далекомір	54
2.9 Розробка принципової схеми системи	54
2.11 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності	56
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60

ВСТУП

Грейферний кран належить до різновидів мостових підйомних механізмів, що є невід'ємним елементом виробничої інфраструктури сучасних промислових підприємств і забезпечує безперервність технологічних процесів вантажопереробки.

На переважній більшості діючих кранових установок застосовується асинхронний електропривод із фазним ротором у поєднанні з релейно-контакторними схемами керування для регулювання швидкості та крутного моменту. Надійність приводу механізму пересування мосту безпосередньо визначає загальну продуктивність кранового обладнання. З метою скорочення тривалості робочого циклу оператори нерідко вдаються до режиму противключення, незважаючи на те що технічна документація не рекомендує реверсування фаз силового кола під час руху на максимальній швидкості з повністю виведеними роторними резисторами. На практиці цей режим є доволі поширеним, особливо у нічних змінах. Наслідком такої практики є підвищені динамічні навантаження на електромеханічні вузли, що призводить до руйнування редукторів та відмов електродвигунів. Двигун механізму пересування мосту потребує ремонтного втручання через кожні вісім-десять місяців, тоді як паспортний ресурс становить дванадцять років.

Додатково встановлено, що в режимі противключення амплітуда вібрацій корпусу редуктора перевищує нормативно допустиму межу (60 мкм) більш ніж у сорок разів - це є головним чинником передчасного зношування вузлів кранового приводу.

Розв'язання зазначеної проблеми можливе у двох напрямках. Перший передбачає повну заміну силової частини та системи регулювання на частотно-керований електропривод із встановленням асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором. Такий підхід забезпечує: плавне й точне регулювання швидкості, прискорень, моментів і тягових зусиль незалежно від маси вантажу; безударний розгін і плавне гальмування; автоматичний захист

від перевантажень; гальмування засобами електропривода без зношування гальмівних колодок; скорочення витрат електроенергії до 20%; підвищення cosφ; суттєве зменшення кількості релейно-контакторної апаратури.

Другий напрям - розробка спеціалізованого мікропроцесорного пристрою з розширеним функціоналом: фіксація моментів появи струмів навантаження, захист від зіткнень кранів, облік моторесурсу механізмів, вимірювання спожитої електроенергії та бездротова передача даних на диспетчерський пульт.

Основні завдання роботи: модернізація системи електроприводу шляхом впровадження частотних перетворювачів; розробка алгоритмічного забезпечення та вибір технічних засобів для обліку напрацювання механізмів і контролю енергоспоживання.

Реалізація поставлених завдань спрямована на: усунення виробничих витрат від простоїв крана; виключення витрат на демонтаж і транспортування несправного обладнання; економію електроенергії; підвищення ефективності використання кранового парку; зниження витрат на технічне обслуговування та ремонти.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про ПАТ «ІнГЗК»

ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» (ІнГЗК, м. Кривий Ріг) засновано у 1965 р. [18]. Підприємство здійснює повний цикл переробки залізистих кварцитів Інгулецького родовища - від відкритого кар'єрного видобутку до відвантаження товарного залізородного концентрату (ЗРК). З 2007 р. ІнГЗК входить до складу Групи «Метінвест». Систему менеджменту якості підприємства сертифіковано відповідно до міжнародних стандартів [1].

Виробнича інфраструктура налічує 17 структурних підрозділів. Гірничий блок включає кар'єр із річною продуктивністю 70 млн т гірської маси та цех технологічного автотранспорту потужністю понад 60 млн т/рік. Переробний блок утворюють дробильна фабрика (понад 36 млн т сирової руди/рік) і дві збагачувальні фабрики (сумарно понад 14,5 млн т концентрату/рік) із масовою часткою заліза 63,7% і 67,0% відповідно. Преміальний концентрат із вмістом заліза понад 67% виробляється в цеху магнітно-флотаційного доведення (МФДК) - унікальному для Групи комплексі продуктивністю понад 3,2 млн т/рік. Загальна проектна потужність збагачення становить 15 млн т концентрату/рік. Сировинна база Інгулецького родовища за стандартом JORC оцінюється в 937 млн т мінеральних ресурсів, у тому числі 444 млн т залізної руди.

Товарний ЗРК із вмістом заліза 63,7-67,0% є металургійною сировиною для виплавки чавуну і сталі. Щорічно реалізується близько 14 млн т концентрату залізничним транспортом (маршрутні групи по 56 вагонів). Крім вітчизняних металургійних комбінатів (ВАТ «ЗМК Запорозжсталь»), продукція постачається до Китаю, Угорщини та Чехії. Побічною продукцією є щебінь і дроблений пісок зі збагачувальних відходів.

Кінцевою ланкою технологічного ланцюга є закритий склад концентрату РЗФ-1, що забезпечує акумулювання готової продукції та її ритмічне відвантаження споживачам. Безперебійне завантаження і вивантаження

концентрату здійснюється грейферними кранами, тому стабільність їх роботи безпосередньо визначає пропускну спроможність складу.

1.2 Конструкція та технічні характеристики грейферного крана

Досліджуваний кран, встановлений на рудозбагачувальній фабриці № 1, є одним із ряду однотипних вантажопідйомних механізмів, що обслуговують технологічне обладнання фабрики.

Цехові мостові крани призначені для механізації вантажно-розвантажувальних операцій, безпосередньо пов'язаних з технологічним процесом. Грейферний кран (рис. 1.1) являє собою міст, що переміщується підкрановими шляхами на ходових колесах, змонтованих на кінцевих балках. Підкранові шляхи спираються на кронштейни несучих колон цеху. Привод пересування розміщено на металоконструкції мосту; управління всіма механізмами здійснюється оператором із кабіни.

Живлення електродвигунів здійснюється через цехові тролєї зі сталевого кутового профілю, закріплені вздовж стіни будівлі. Передавання струму до рухомого крана забезпечується ковзними струмозйомниками, встановленими на металоконструкції мосту. На крані також передбачено майданчик для обслуговування тролєїв.

Привод пересування включає електродвигун, з'єднаний через проміжний вал-вставку з редуктором. Напівмуфта, що сполучає вал-вставку з вхідним валом редуктора, водночас слугує гальмівним шківом для колодкового гальма з електрогідравлічним штовхачем. Кінематична схема механізму пересування мосту наведена на рис. 1.2.

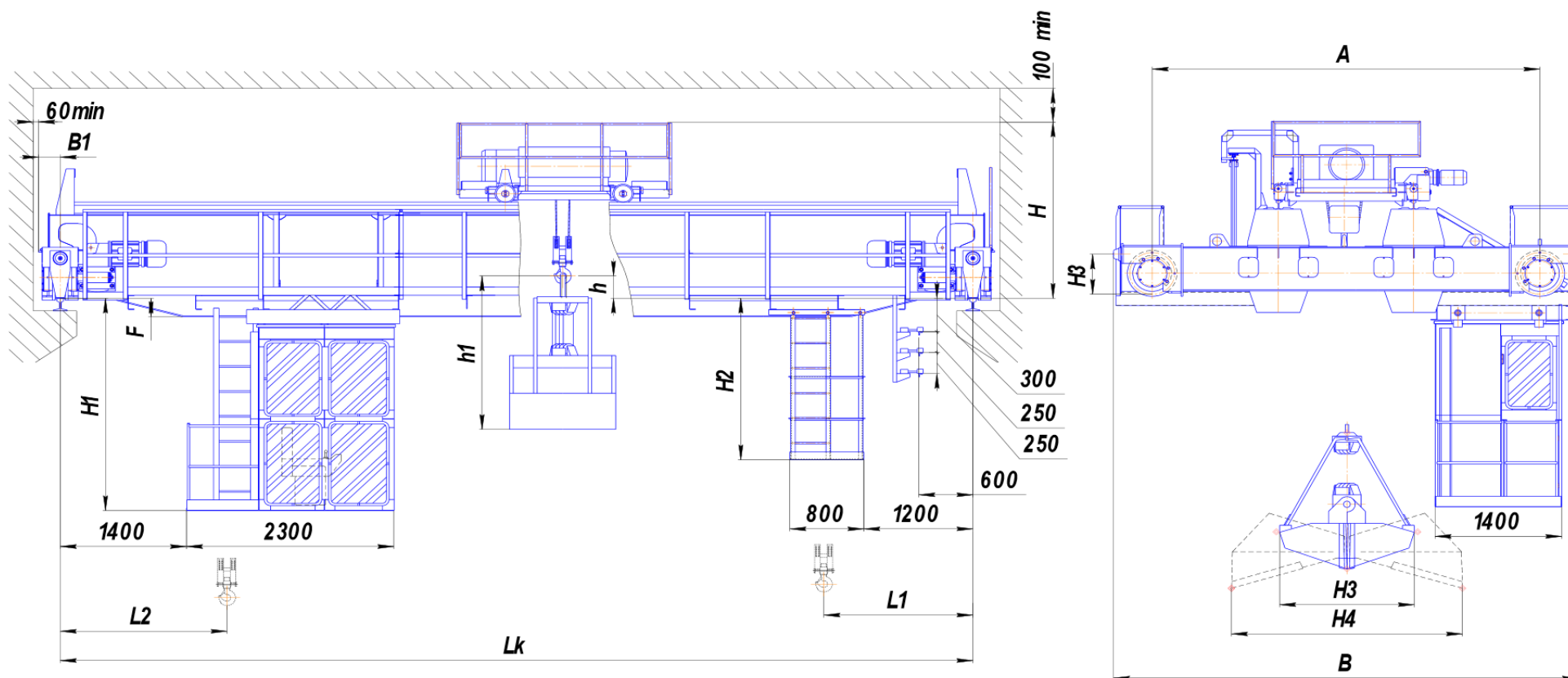


Рис. 1.1. Загальний вид грейферного крана
(розроблено з використанням [2])

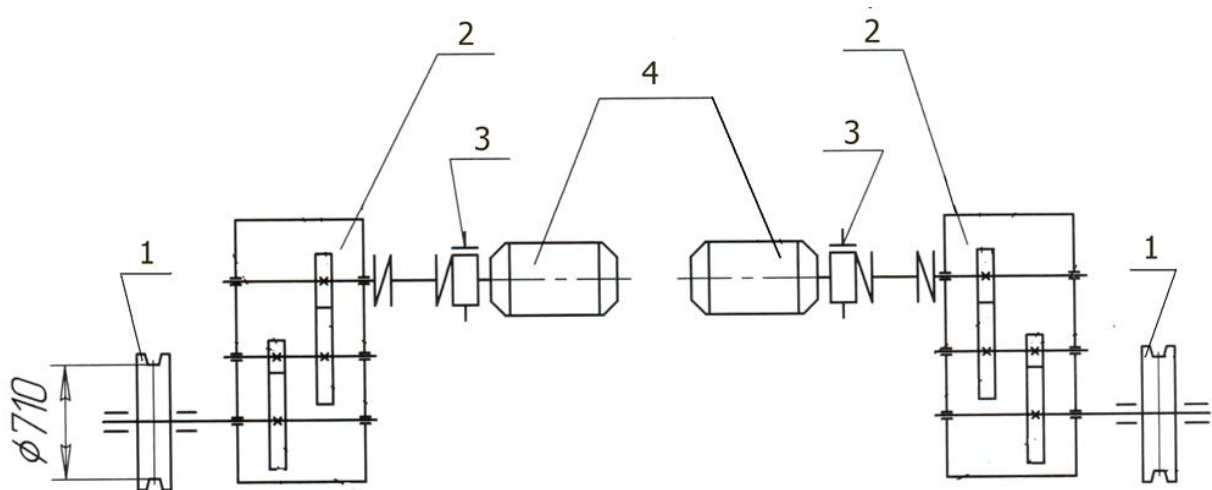


Рис. 1.2. Кінематична схема механізму пересування мосту

1 - ходове колесо; 2 - редуктор; 3 - гальмівний шків; 4 - електродвигун
(розроблено з використанням [2])

Технічні характеристики мостового грейферного крана наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики грейферного крана вантажопідйомністю 20 т [2]

Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
Тип крана	-	мостовий електричний
Режим роботи (підйом / пересування / візок)	-	тяжкий
Вантажопідйомність грейфера	т	20
Висота підйому	м	12
Швидкість підйому грейфера	м/с	0,66

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Швидкість пересування крана	м/с	1,6
Швидкість пересування візка	м/с	0,63
Проліт крана	м	28,5
Вага крана	т	38,3
Навантаження від колеса на рейку	кН	235
Напруга: силового кола / керування	В	змін. 380
Напруга: робочого / ремонтного освітлення	В	220 / 12
Діаметр каната грейфера	мм	17,5
Тиск колеса на рейку підкранової колії	кН	350
Об'єм грейфера	м ³	2,6
Вага грейфера	т	8,5
Конструктивна вага візка з грейфером	т	30
Конструктивна вага крана не більше	т	68,5

1.3 Схеми керування електроприводами кранових механізмів

Підбір апаратури керування кранових механізмів обумовлений відмінністю їх технологічних функцій. Механізми пересування мосту і візка часто не потребують плавного регулювання швидкості, тоді як підйомні механізми не можуть функціонувати без регулювання за умовами безпечної посадки вантажу. Порівняльну характеристику основних типів систем керування наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика систем керування крановими електроприводами

Тип системи	Контролер	Діапазон рег., n:1	Вкл/год	Застосування
Безпосереднє керування	Силовий (ККТ, ККП)	≤ 3	≤ 120	Легкий та середній режим
З магнітними контролерами	Командоконтролер + контактори	≤ 5	до 600	Середній та важкий режим
Комбіноване	Магнітний (підйом) + силовий (пересування)	≤ 5	до 600	Важкий режим, різномірні механізми

Ключовою класифікаційною ознакою є також симетричність схеми відносно нульового положення рукоятки. Для механізмів пересування застосовуються симетричні схеми: при переміщенні в протилежних напрямках двигун працює на ідентичних характеристиках. Несиметричні схеми (типи ПС, ТС, КС та їх автоматизовані варіанти ПСА, ТСА) використовуються в механізмах підйому, де режими підймання і опускання вантажу вимагають принципово різних характеристик для забезпечення точної посадки (рис. 1.3).

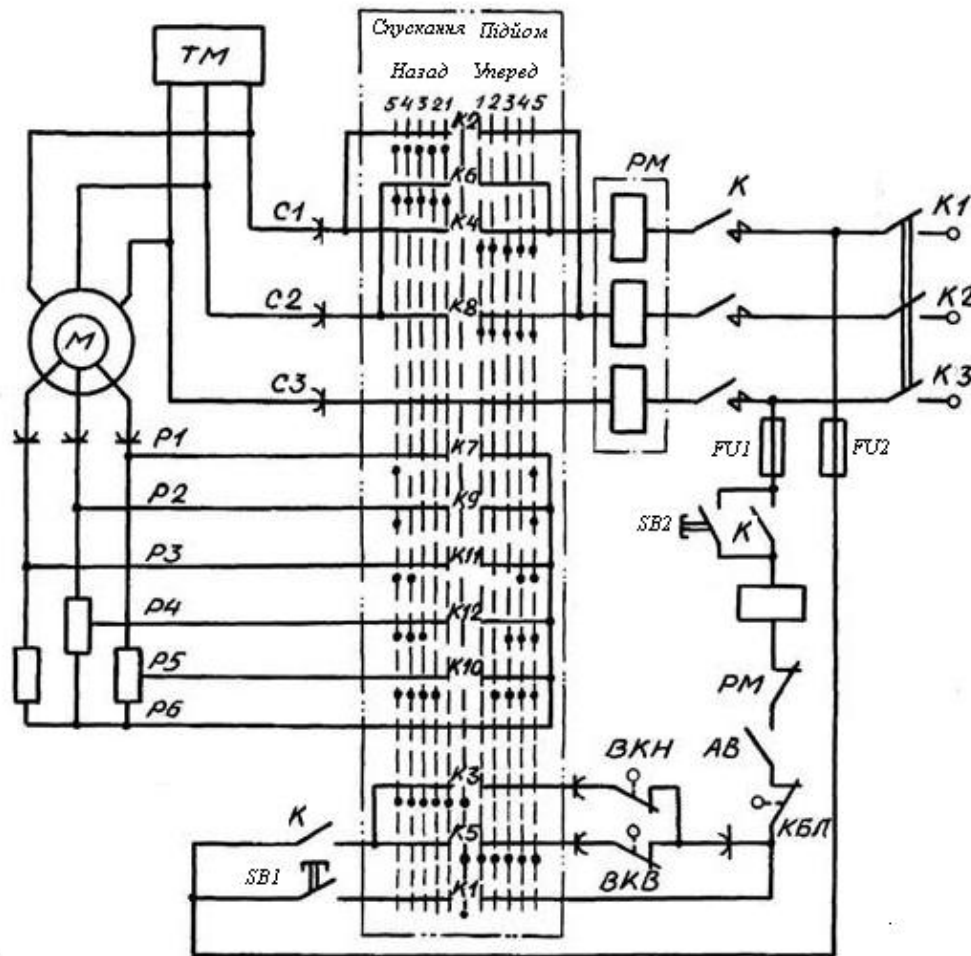


Рис. 1.3. Схема кранового асинхронного привода із силовим контролером ККТ61А

(розроблено з використанням [3])

Магнітні контролери виправдані в умовах інтенсивних режимів роботи з підвищеною частотою включень. Комутацію силових кіл виконують контактори, керовані від компактного командоконтролера в кабіні оператора. Силова апаратура розміщується на мосту або в окремій шафі. Порівняно з силовими контролерами ця схема дає змогу зменшити габарити кабіни, знизити фізичне навантаження на оператора, автоматизувати пуск і гальмування та реалізувати дистанційне керування.

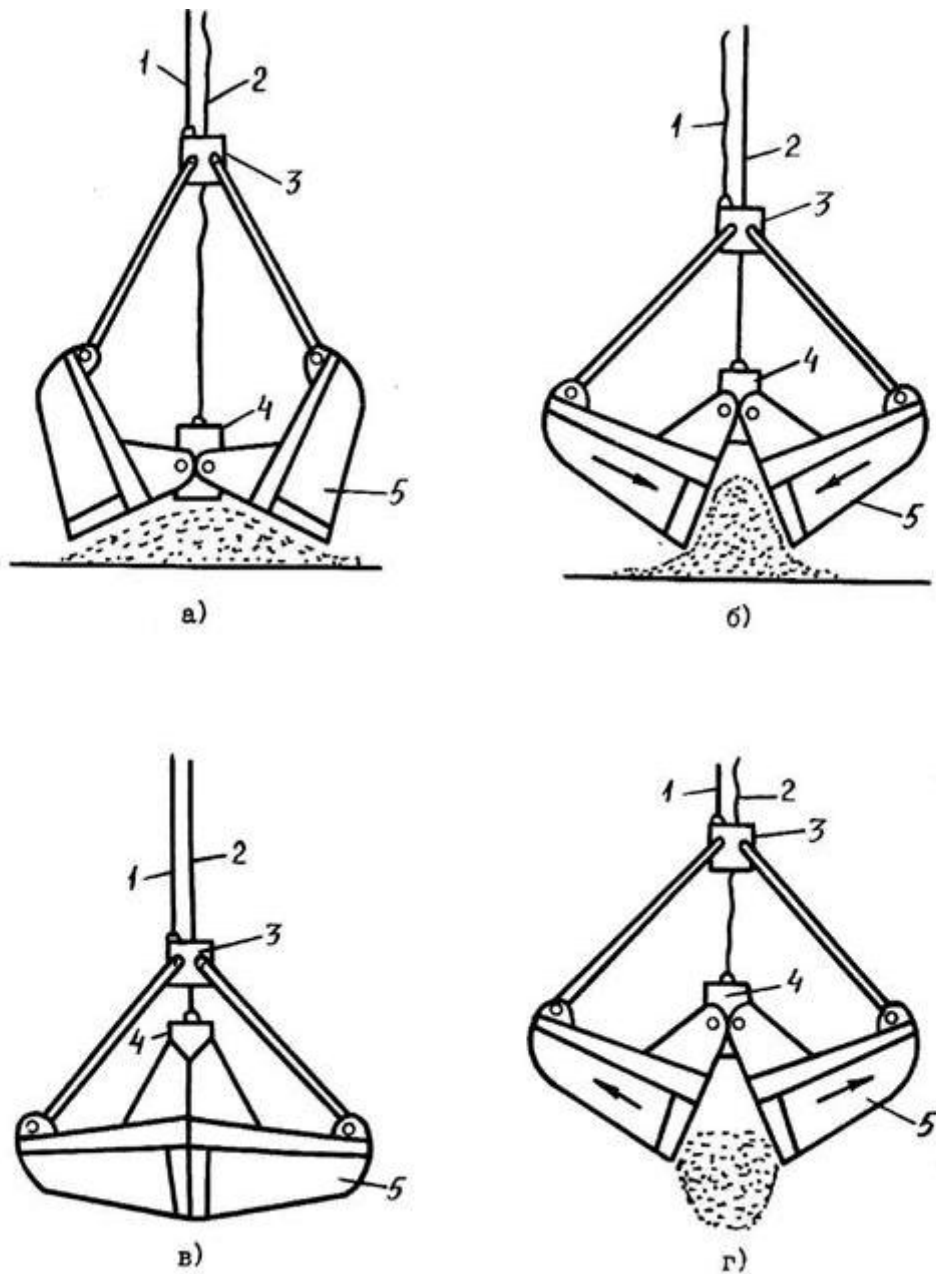


Рис. 1.4. Робочі операції грейфера

а) опускання; б) закриття; в) підйом; г) розкриття
(розроблено з використанням [4])

Для важких кранів із двома приводами передбачені здвоєні панелі типів ДП, ДТ, ДК (пересування) і ДПС, ДТС, ДКС (підйом), що дозволяють керувати одним або обома двигунами залежно від потреби.

1.4 Вимоги до електроприводу

Вибір типу двигуна та системи електроприводу для кранових механізмів визначається сукупністю факторів: вантажопідйомністю, номінальною швидкістю, необхідним діапазоном регулювання, механічними характеристиками, частотою включень тощо.

Основні характеристики вимог до електроприводу:

- а) регулювання кутової швидкості - широкий діапазон швидкостей для ефективного управління вантажем;
- б) точна зупинка механізму - для запобігання ударам при посадці вантажу;
- в) жорсткість механічних характеристик - витримування змінних навантажень, зокрема при роботі з максимальними вантажами;
- г) обмеження прискорень - у допустимих межах для виключення пробуксовки коліс і ударів у кінематичному ланцюзі;
- д) реверсування - здатність до зміни напрямку руху і роботи в руховому та гальмівному режимах.

Основні вимоги до ЕП кранів:

- регулювання швидкості й моменту відповідно до заданих механічних характеристик;
- обмеження динамічних навантажень в елементах механічної частини;
- підвищена надійність; захист здійснюється за допомогою захисних панелей (максимальний, нульовий, кінцевий захист і нульове блокування);
- максимально прості схеми ЕП; підвищення продуктивності через збільшення середніх швидкостей при зниженні установочних;
- спрощення управління краном для зменшення стомлюваності оператора;
- формування спеціальних динамічних режимів; підвищена точність зупинки.

1.5 Дослідження приводу пересування мосту крана в режимах противключення

Задача досліджень - встановити кількісний вплив режиму противключення на рівень вібрацій редуктора і характер зміни фазного струму двигуна.

Об'єкт - грейферний кран (вантаж 10 т) із чотирма асинхронними двигунами з фазним ротором, кожен із яких через окремий редуктор пов'язаний з ходовим колесом без механічних зв'язків між двигунами. Вимірювальна апаратура: струмовимірювальні кліщі «FLUKE і 3000S», віброметр «Microlog CMVA60», архіватор «Рекон-09МА» (похибка $\leq 2\%$, час реєстрації до 5 хв).

Спрощена схема управління одним двигуном показана на рис. 1.5. Через часовий розкид спрацювання реле K1 напруга на статори чотирьох двигунів подається з розкидом у соті частки секунди - це спричиняє початкові вібрації ще до появи струму у фазі досліджуваного двигуна і запізнення напруги однієї з фаз (точки А і Б на осцилограмах).

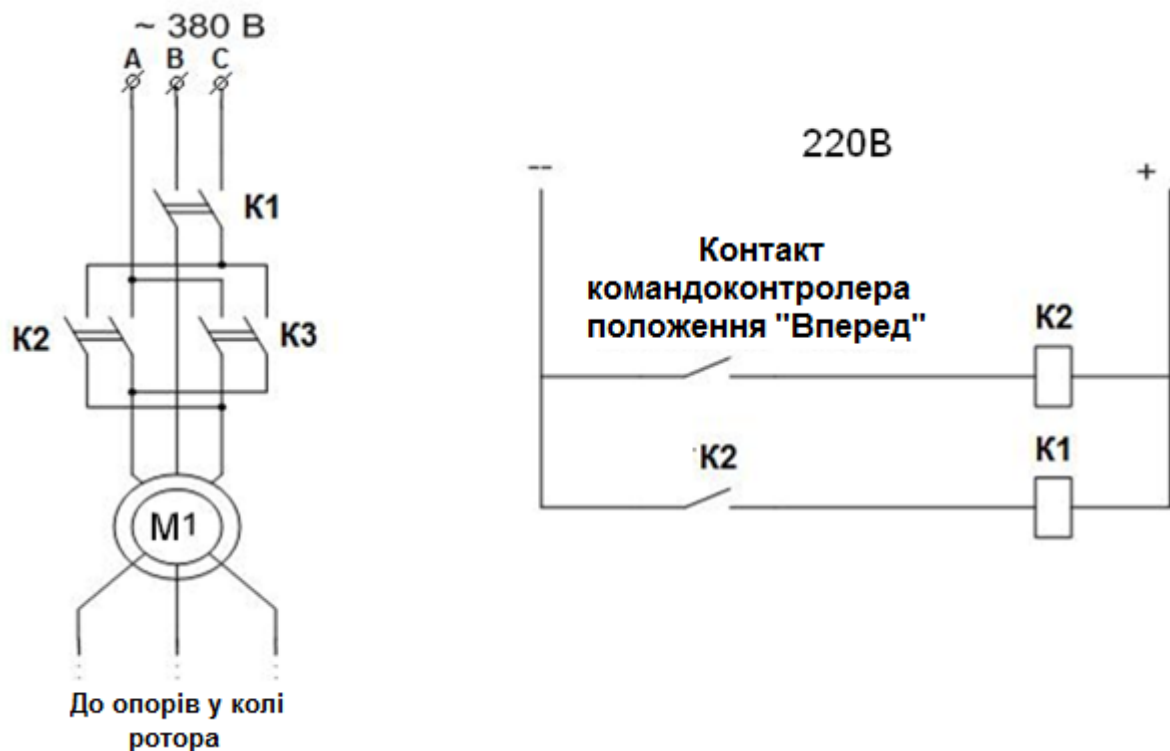


Рис. 1.5. Спрощена схема управління одним двигуном
(розроблено з використанням [4])

Проведено три серії вимірювань (рис. 1.6-1.8): нормальний пуск у одному напрямку та два варіанти реверсу - із повністю введеними роторними резисторами і з 15% залишкового опору ротора. Узагальнені результати наведено в табл. 1.4.

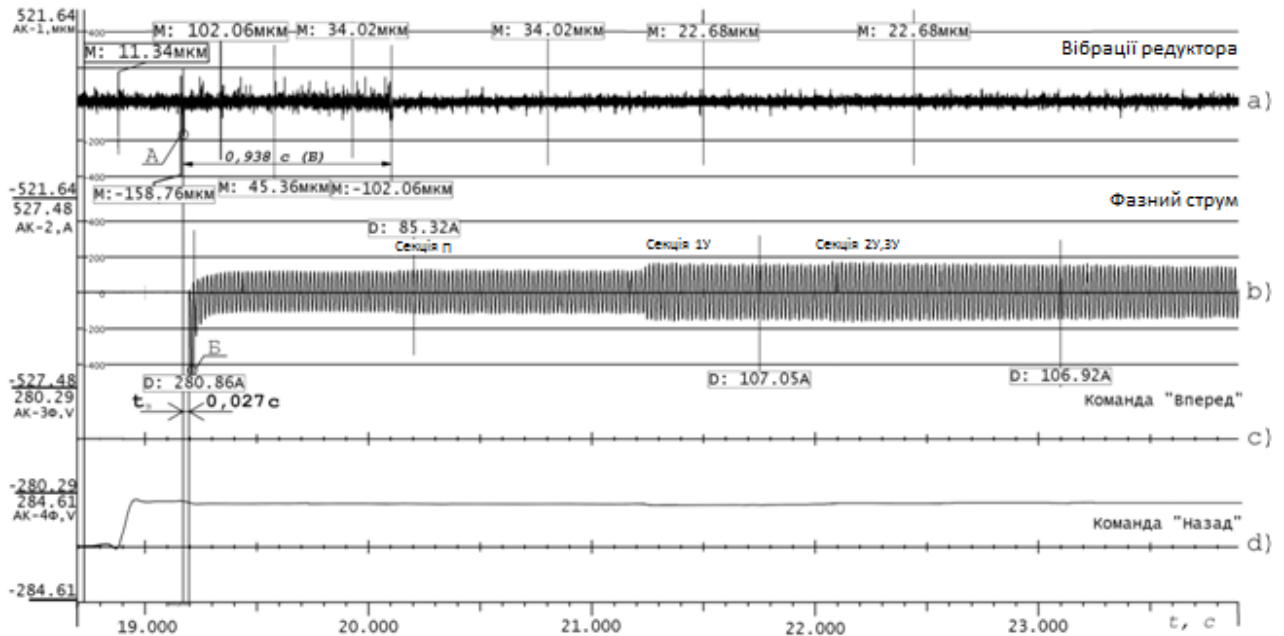


Рис. 1.6. Осцилограми перехідних процесів пересування мосту у напрямку «Вперед»

а) - вібрація; б) - фазний струм; c) - сигнал «Вперед»; d) - сигнал «Назад»
(розроблено з використанням [5])

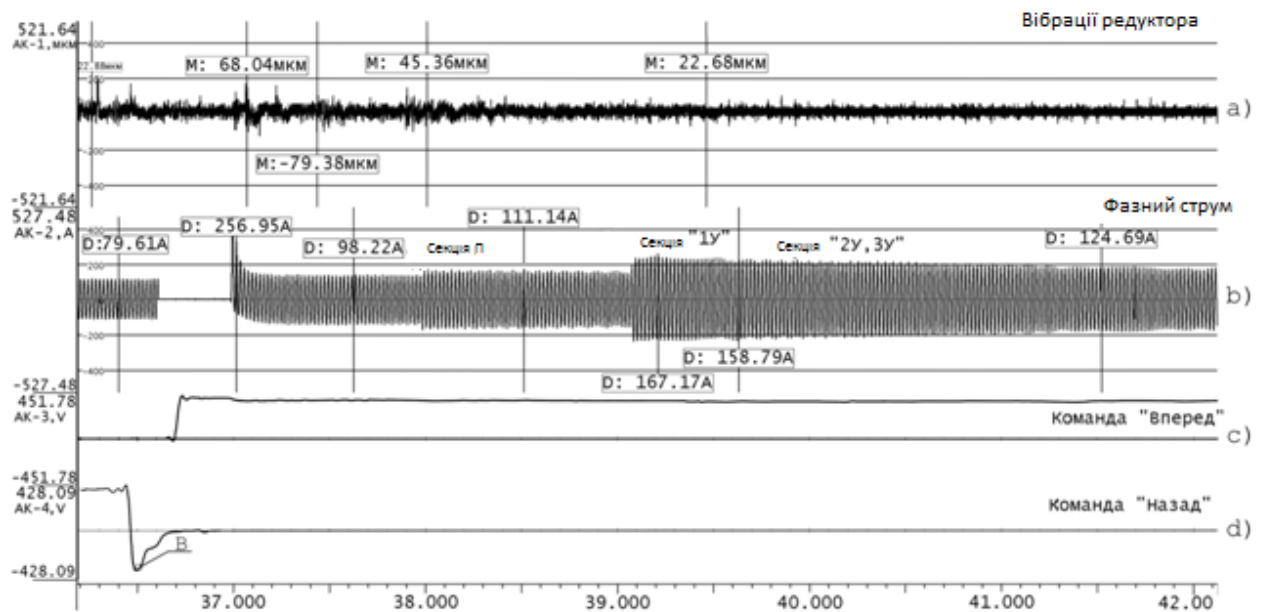


Рис. 1.7. Осцилограми перехідних процесів реверсу із включеними роторними резисторами

а) - вібрація; б) - фазний струм; с) - сигнал «Вперед»; д) - сигнал «Назад»
(розроблено з використанням [5])

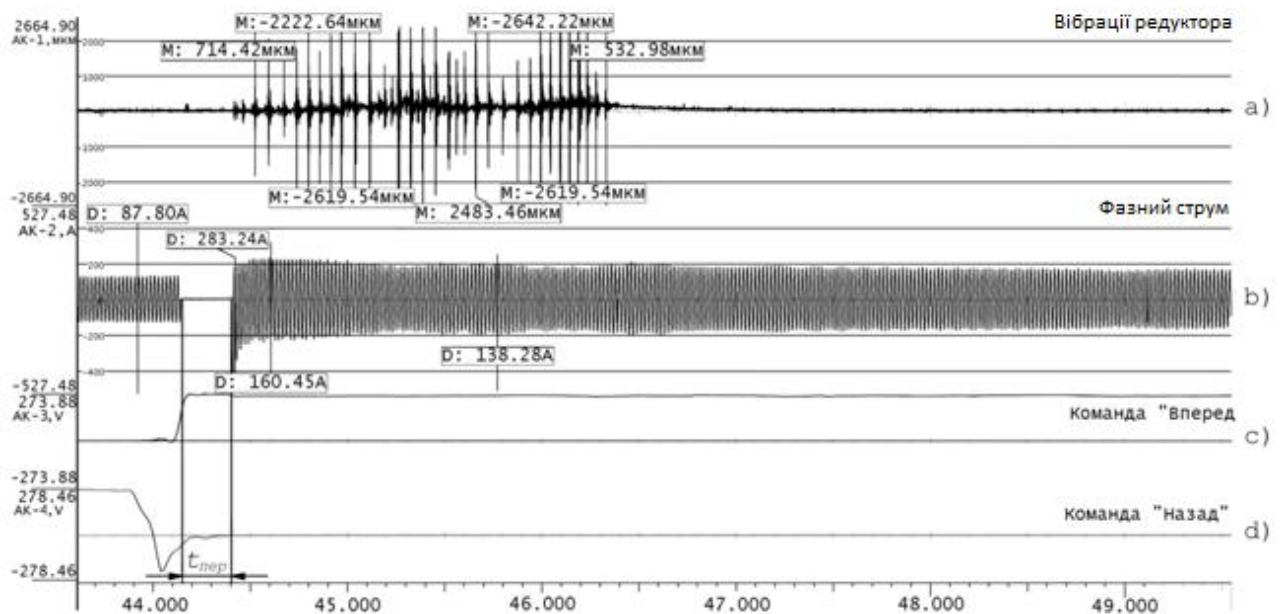


Рис. 1.8. Осцилограми перехідних процесів реверсу із частково відключеними роторними резисторами

а) - вібрація; б) - фазний струм; с) - сигнал «Вперед»; д) - сигнал «Назад»
(розроблено з використанням [5])

Таблиця 1.4

Порівняльні результати досліджень режимів роботи привода пересування мосту [5]

Параметр	Пуск «Вперед» (рис. 1.6)	Реверс, повні резистори (рис. 1.7)	Реверс, 15% резисторів (рис. 1.8)
Час розгону / реверсу, с	4,3	5,4	3,4
Відношення пускового струму до усталеного	-	2,6	1,16
Максимальний рівень вібрацій, мкм	< 60 (норма)	79,38	2642
Тривалість підвищених вібрацій, с	0,938	2,0	1,6
Перевищення допустимого рівня 60 мкм	немає	1,3×	44×

Аналіз даних табл. 1.4 свідчить, що нормальний пуск не виходить за межі вібраційного норма (60 мкм), тоді як реверс із повними роторними резисторами перевищує норму вже в 1,3 рази. Критичним є режим з частково відключеними резисторами: максимальна амплітуда вібрацій 2642 мкм перевищує допустиме значення в 44 рази. При цьому тривалість підвищених вібрацій становить 1,6 с, що є достатнім для накопичення втомних пошкоджень у зубчастому зачепленні редуктора. Різкіший спад фазного струму в третьому досліді (відношення 1,16 проти 2,6) пояснюється відсутністю ступінчастого шунтування роторних резисторів. Отже, саме режим противключення при знижених роторних опорах

є головним чинником передчасного зносу механічного обладнання кранового привода.

1.6 Аналіз існуючих систем електроприводу

На сьогодні для керування електроприводами кранових механізмів широко застосовуються такі системи:

а) система безпосереднього керування із силовими кулачковими контролерами - для кранів легкого та середнього режимів роботи; діапазон регулювання швидкості до 3:1; до 120 включень/год;

б) система з магнітними контролерами - для мереж постійного і змінного струму через командоконтролери; діапазон регулювання до 5:1;

в) система ТРН-АД - діапазон регулювання до 10:1; потребує тахометричного датчика;

г) система Г-Д - діапазон 10:1; потребує додаткового місця для обладнання;

д) система ТП-Д - діапазон 10:1; впливає на якість електроенергії мережі;

є) система ТПЧ-АД - діапазон до 50:1; найвищі динамічні характеристики; висока питома вартість.

За результатами аналізу оптимальним варіантом для вирішення проблеми передчасних відмов є система ПЧ-АД, яка унеможлиблює режим противключення, забезпечує жорсткі характеристики і збільшує ресурс панелей управління в десятки разів.

Таким чином, завдання роботи полягає у модернізації електроприводу механізму переміщення мосту грейферного крана РЗФ-1 ПАТ «ІнГЗК» шляхом впровадження частотного управління з двигуном із КЗ ротором. Впровадження ЧРП дозволяє підвищити надійність обладнання, автоматизувати виробничі процеси та скоротити витрати електроенергії.

1.7 Вибір двигуна

Розрахунок потужності привода виконується за методикою [6]. Вихідні дані за паспортними характеристиками крана [2]: вантажопідйомність 20 т; вага крана 68,5 т; діаметр ходового колеса 710 мм; діаметр цапфи 200 мм; максимальна швидкість пересування 1,6 м/с; ккд механізму 0,85.

Опір пересуванню крана з максимальним вантажем при усталеному режимі (1.1):

$$W_y = (Q + G_m) \times (fd/D_k + 2\mu/D_k \times k_p + \alpha) \quad (1.1)$$

де $Q = 196$ кН - вага вантажу; G

$G_m = 671,3$ кН - власна вага крана;

$D_k = 0,71$ м - діаметр ходового колеса;

$d = 0,2$ м - діаметр цапфи ходового колеса;

$f = 0,001$ - коефіцієнт тертя в підшипниках [7, с.106, табл. 26];

$\mu = 0,008$ м - коефіцієнт тертя кочення [7, с.107, табл. 27];

$k_p = 1,4$ - коефіцієнт тертя реборд об рейки [6, с.107, табл. 28];

$\alpha = 0,001$ - розрахунковий ухил шляху [7].

Підстановка числових значень: $W_y = (196 \times 10^3 + 671,3 \times 10^3) \times (0,001 \times 0,2 + 2 \times 0,008) / 0,71 \times 1,4 + 0,001 = 28572$ Н.

Опір пересуванню завантаженого крана в пусковий період (1.2):

$$W_n = W_y + 1,2 \times (G_m + Q) / g \times a = 28572 + 1,2 \times 867,3 \times 10^3 / 9,81 \times 0,1 = 39192 \text{ Н} \quad (1.2)$$

де $a = 0,1$ м/с² - середнє прискорення крана при пуску [7, с.108, табл. 29].

Необхідна пускова потужність двигунів роздільного привода (1.3):

$$N_{n\Sigma} = W_n \times V_k / (1020 \times \eta \times \psi_{cp}) = 39,192 \times 1,6 / (1020 \times 0,85 \times 1,5) = 48,218 \text{ кВт} \quad (1.3)$$

де $V_k = 1,6 \text{ м/с}$; $\eta = 0,85$; $\psi_{cp} = 1,5$ [7].

Сумарна потужність при усталеному русі (1.4):

$$N_{y\Sigma} = W_y \times V_k / (1020 \times \eta \times \psi_{cp}) = 28,572 \times 1,6 / (1020 \times 0,85 \times 1,5) = 35,152 \text{ кВт} \quad (1.4)$$

Пускова потужність кожного двигуна роздільного привода (1.5):

$$N_{дв.п} = K_n \times N_{n\Sigma} / z = 1,15 \times 48,218 / 2 = 27,725 \text{ кВт} \quad (1.5)$$

де $K_n = 1,15$ - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження; $z = 2$ шт.

Потужність при усталеному русі (1.6):

$$N_{дв.у} = K_n \times N_{y\Sigma} / z = 1,15 \times 35,152 / 2 = 20,212 \text{ кВт} \quad (1.6)$$

Оскільки $N_{дв.п} > N_{дв.у}$, двигун обирається за умовою пуску: $N_{дв.п} = 27,725 \text{ кВт}$. Обрано електродвигун АМТК-200L: $P_n = 30 \text{ кВт}$; $I_n = 60 \text{ А}$ $n_n = 975 \text{ об/хв}$.

Число обертів ходового колеса (1.7):

$$n_k = 60 \times V_k / (\pi \times D_k) = 60 \times 1,6 / (3,14 \times 0,71) = 43,039 \text{ об/хв} \quad (1.7)$$

Передаточне число редуктора (1.8):

$$i_p = n / n_k = 975 / 43,039 = 22,654 \quad (1.8)$$

Приймається редуктор з $i = 8$. За [7, с.107, табл. 27] обрано двоступінчастий редуктор РМ-650-8: $A = 650$ мм; $[n_{ред}] = 1500$ об/хв; $i_{ред.} = 22,4$; $m_{ред} = 830$ кг.

1.8 Вибір силового перетворювача електроенергії

При виборі тиристорного перетворювача частоти (ТПЧ) виконуються умови (1.9) та (1.10):

$$U_{ТПЧ.н} \geq U_n \quad (1.9)$$

$$I_{ТПЧ.н} \geq 2 \times I_n \quad (1.10)$$

Обрано перетворювач частоти ЕП-07-75 виробництва НВП «Українська електротехнічна компанія» (м. Харків): $U_{ТПЧ.н} = 380$ В; $I_{ТПЧ.н} = 163$ А; $f_n = 50$ Гц; регулювання вихідної напруги 10-380 В; вихідної частоти 0,5-100 Гц. Порівнювані параметри ТПЧ і АД наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Порівнювані параметри для ТПЧ і АД

№	Параметр	Од. вим.	для ТПЧ	для 2-х АД
1	Номінальна напруга	В	380	380
2	Номінальний струм	А	163	120
3	Тривалість роботи	%	ТВ=100	ТВ=25

Всі умови виконуються: перетворювач частоти ЕП-07-75 обраний правильно.

1.9 Розрахунок параметрів схеми заміщення АД, побудова швидкісних та механічних характеристик

Схема заміщення АД, необхідна для подальших розрахунків, наведена на рис. 1.9.

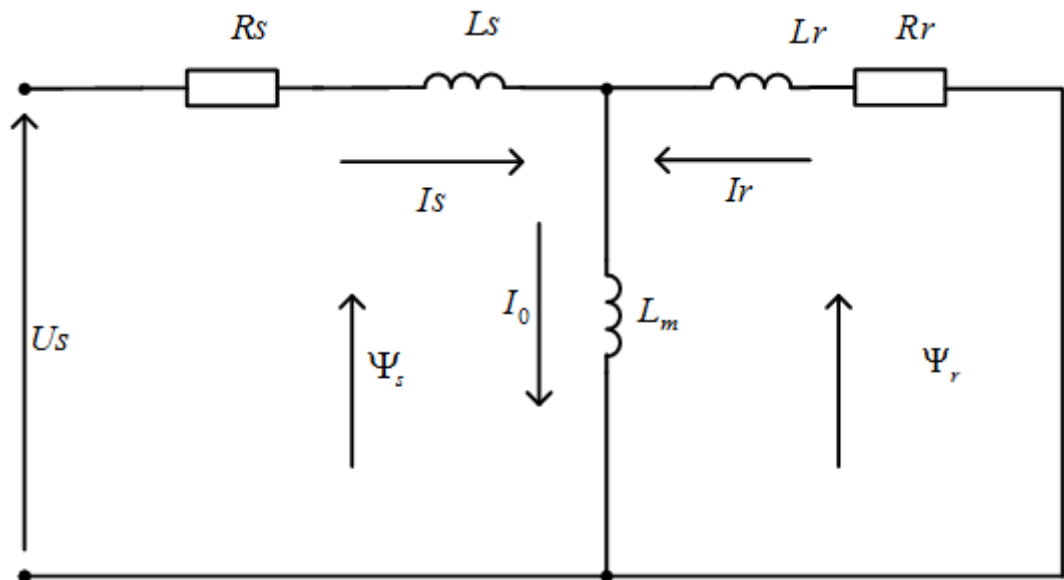


Рис. 1.9. Схема заміщення АД
(розроблено з використанням [8])

Параметри електродвигуна АМТК-200L [8; 9]: $P_H = 30000$ Вт; $U_\phi = 219,393$ В; $\eta_H = 0,9$; $\cos\varphi = 0,84$; $p_H = 3$; $S_H = 0,025$; $K_i = 6,1$; $K_p = 1,9$; $K_m = 3,3$; $J_{дв} = 1,19$ кг·м²; $\omega_0 = 104,72$ рад/с.

Номінальна швидкість (1.11):

$$\omega_{ном} = (1 - S_H) \times \omega_0 = (1 - 0,025) \times 104,72 = 102,1 \text{ рад/с} \quad (1.11)$$

Номінальний момент (1.12):

$$M_{ном} = P_H / \omega_{ном} = 30000 / 102,1 = 293,825 \text{ Н·м} \quad (1.12)$$

Пусковий момент (1.13):

$$M_n = M_{ном} \times K_p = 293,825 \times 1,9 = 558,26 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.13)$$

Номинальний струм статорної обмотки (1.14):

$$I_{ном} = P_n / (3 \times U_\phi \times \eta_n \times \cos\varphi) = 30000 / (3 \times 220 \times 0,9 \times 0,84) = 60,29 \text{ А} \quad (1.14)$$

Струм намагнічування (1.15-1.16) при $\beta = 0,98$; конструктивний коефіцієнт (1.17); критичне ковзання (1.18):

$$I_\mu = I_{ном} \left(\sin\varphi_n - \frac{\cos\varphi}{K_m + \sqrt{K_m^2 - 1}} \right) = 60,291 \cdot \left(0,543 - \frac{0,84}{3,3 + \sqrt{3,3^2 - 1}} \right) = 24,855 \text{ А}$$

$$I_0 = I_\mu = 24,855 \text{ А} \quad (1.16)$$

$$C_1 = 1 + I_0 / (2 \times K_i \times I_n) = 1 + 24,855 / (2 \times 6,1 \times 60,291) = 1,034 \quad (1.17)$$

$$S_k = S_n \cdot \frac{K_m + \sqrt{K_m^2 - [1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (K_m - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (K_m - 1)} =$$

$$= 0,025 \cdot \frac{3,3 + \sqrt{3,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,025 \cdot 0,98 \cdot (3,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,025 \cdot 0,98 \cdot (3,3 - 1)} =$$

$$= 0,1821 \text{ в. о.} \quad (1.18)$$

Активні опори: роторного (1.20) та статорного (1.21) кіл:

$$R_r = M_n \times \omega_0 \times S_n / (3 \times I_r^2) = 293,825 \times 104,72 \times 0,025 / (3 \times 50,645^2) = 0,1 \text{ Ом} \quad (1.20)$$

$$R_s = R_r \times \beta \times C_1 = 0,1 \times 0,98 \times 1,034 = 0,101 \text{ Ом} \quad (1.21)$$

Індуктивні опори статора та ротора (1.29-1.30), повний індуктивний опір (1.28):

$$X_H = \gamma \times C_1 \times R_r = 4,94 \times 1,034 \times 0,1 = 0,5 \text{ Ом} \quad (1.28)$$

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \times X_H / C_1 = 0,286 \text{ Ом}; \quad X_{1\sigma} = 0,42 \times X_H = 0,214 \text{ Ом} \quad (1.29)$$

Індуктивності та коефіцієнт розсіювання (1.35-1.38):

$$L_s = X_s / \omega_0 = 0,0817 \text{ Гн}; \quad L_r = X_r / \omega_0 = 0,0824 \text{ Гн}; \quad L_m = 0,079 \text{ Гн} \quad (1.35)$$

$$\delta = |1 - L_m^2 / (L_s \times L_r)| = 0,057 \quad (1.38)$$

Момент інерції механізму, приведений до валу двигуна (1.39):

$$J'_{\text{мех}} = \frac{(m+m_0) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{D_b}{2}\right)^2}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot Z_{\text{ред}}} = \frac{(20+68,5) \cdot \left(\frac{0,71}{2}\right)^2}{22,4^2 \cdot 0,91 \cdot 2} = 12,2 \text{ кгм}^2 \quad (1.39)$$

Сумарний момент інерції (1.40):

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J'_{\text{мех}} = 1,19 + 12,21 = 13,4 \text{ кгм}^2 \quad (1.40)$$

Швидкісна характеристика електроприводу за системою ПЧ-АД (1.41):

$$J'_{\text{мех}} = \frac{(m+m_0) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{D_b}{2}\right)^2}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot Z_{\text{ред}}} = \frac{(20+68,5) \cdot \left(\frac{0,71}{2}\right)^2}{22,4^2 \cdot 0,91 \cdot 2} = 12,2 \text{ кгм}^2 \quad (1.41)$$

де $f^* = f_1 / f_c$ - відносна частота живлення АД ($f^* = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ для $f_1 = 10, 20, 30, 40, 50$ Гц).

Розраховані швидкісні та механічні характеристики для п'яти значень частоти живлення наведено на рис. 1.10 та 1.11.

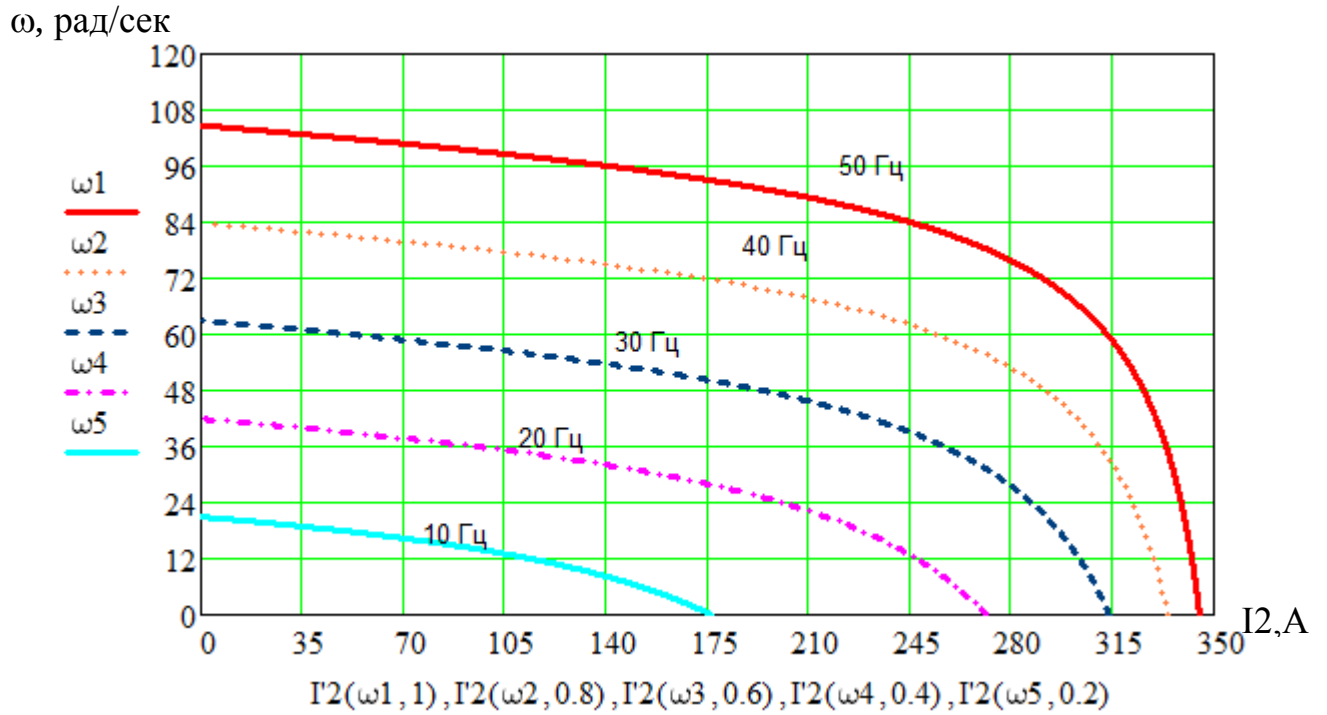


Рис. 1.10. Графік швидкісних характеристик АД
(розроблено автором)

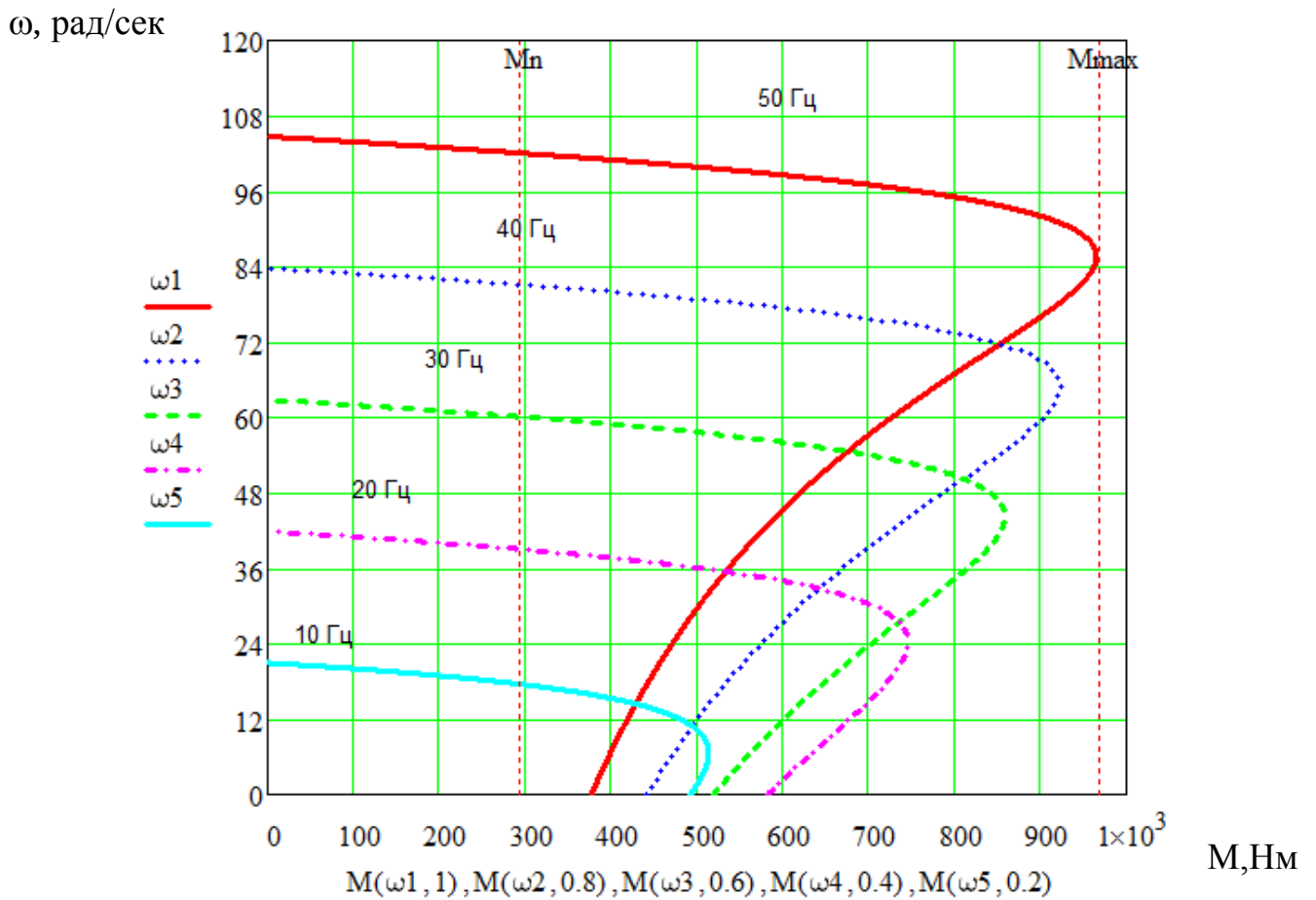


Рис. 1.11. Графік механічних характеристик АД
(розроблено автором)

Вираз для механічної характеристики (1.42) та критичного моменту (1.43):

$$M = \frac{3(U_{\phi_{\text{НОМ}}} f^*)^2 \cdot \frac{R_r' \omega_0 f^*}{\omega_0 f^* - \omega}}{\omega_0 f^* \left[\left(R_s + \frac{R_r' \omega_0 f^*}{\omega_0 f^* - \omega} \right)^2 + (X_{\text{КЗ}} f^*)^2 \right]} \quad (1.42)$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot (U_{\phi_{\text{НОМ}}} \cdot f^*)^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot f^* \cdot \left[R_s + \sqrt{(X_{\text{КЗ}} \cdot f^*)^2 \cdot \left(1 + \frac{R_s^2}{X_{\text{КЗ}}^2 \cdot f^{*2}} \right)} \right]} \quad (1.43)$$

Зменшення критичного моменту при зниженні частоти зумовлено падінням напруги на R_1 . Для компенсації застосовується ІР-компенсація [8] (рис. 1.12):

$$U = U_{\phi} - I_{\text{ін}} \times R_1 \quad (1.44)$$

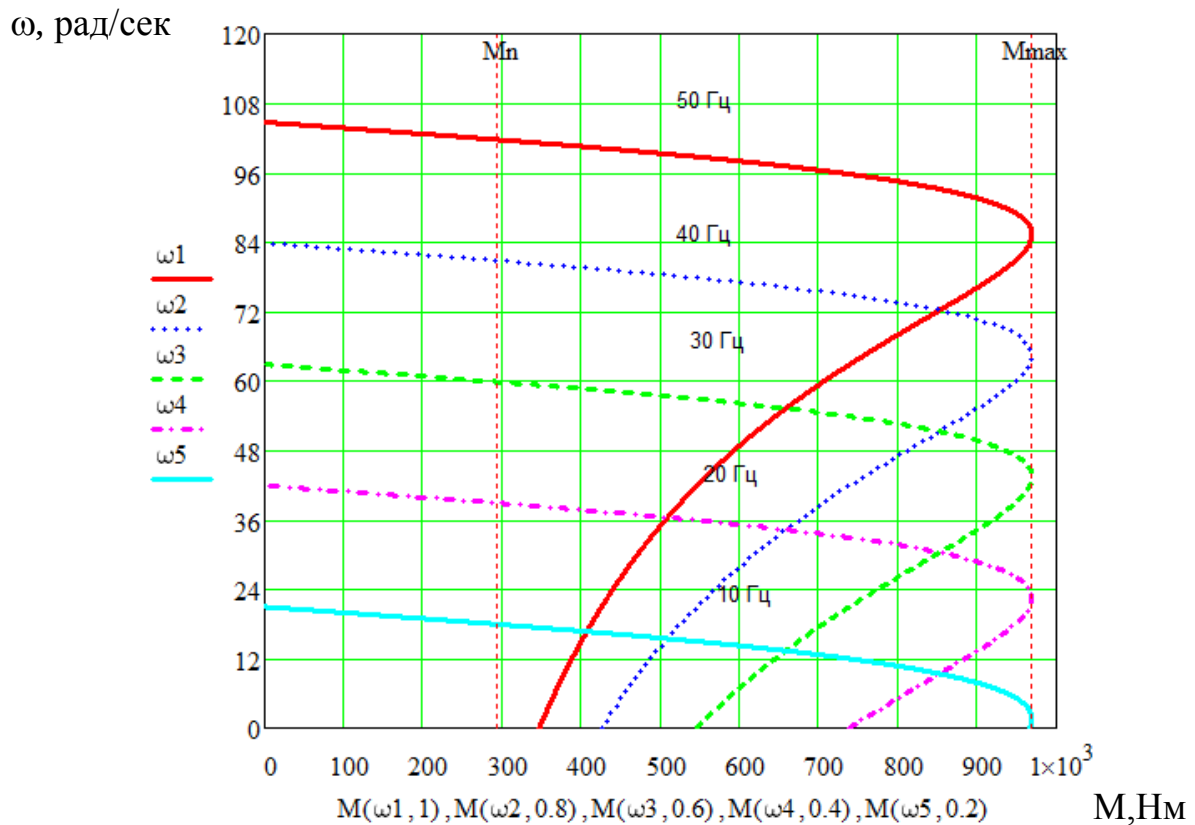


Рис. 1.12. Графік механічних характеристик АД з урахуванням ІР-компенсації

(розроблено автором)

потокотчеплення та кутова швидкість ротора. Об'єкти регулювання в каналі потоку наведено в табл. 2.1, у каналі швидкості - в табл. 2.2.

Таблиця 2.1

Об'єкти регулювання в каналі потоку

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$1 / (R_{1e} \times (T_{1e} \times p + 1))$	Обмотка статора. Інерційна ланка 1-го порядку
Контур потоку	$K_2 \times L_2 / (T_2 \times p + 1)$	Обмотка ротора. Інерційна ланка 1-го порядку

Таблиця 2.2

Об'єкти регулювання і ланки в каналі швидкості

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$1 / (R_{1e} \times (T_{1e} \times p + 1))$	Обмотка статора. Інерційна ланка 1-го порядку
Контур швидкості (1)	$(3/2) \times p_n \times k_2$	Конструктивний коефіцієнт двигуна
Контур швидкості (2)	$1 / (J \times p)$	Інтегруюча ланка

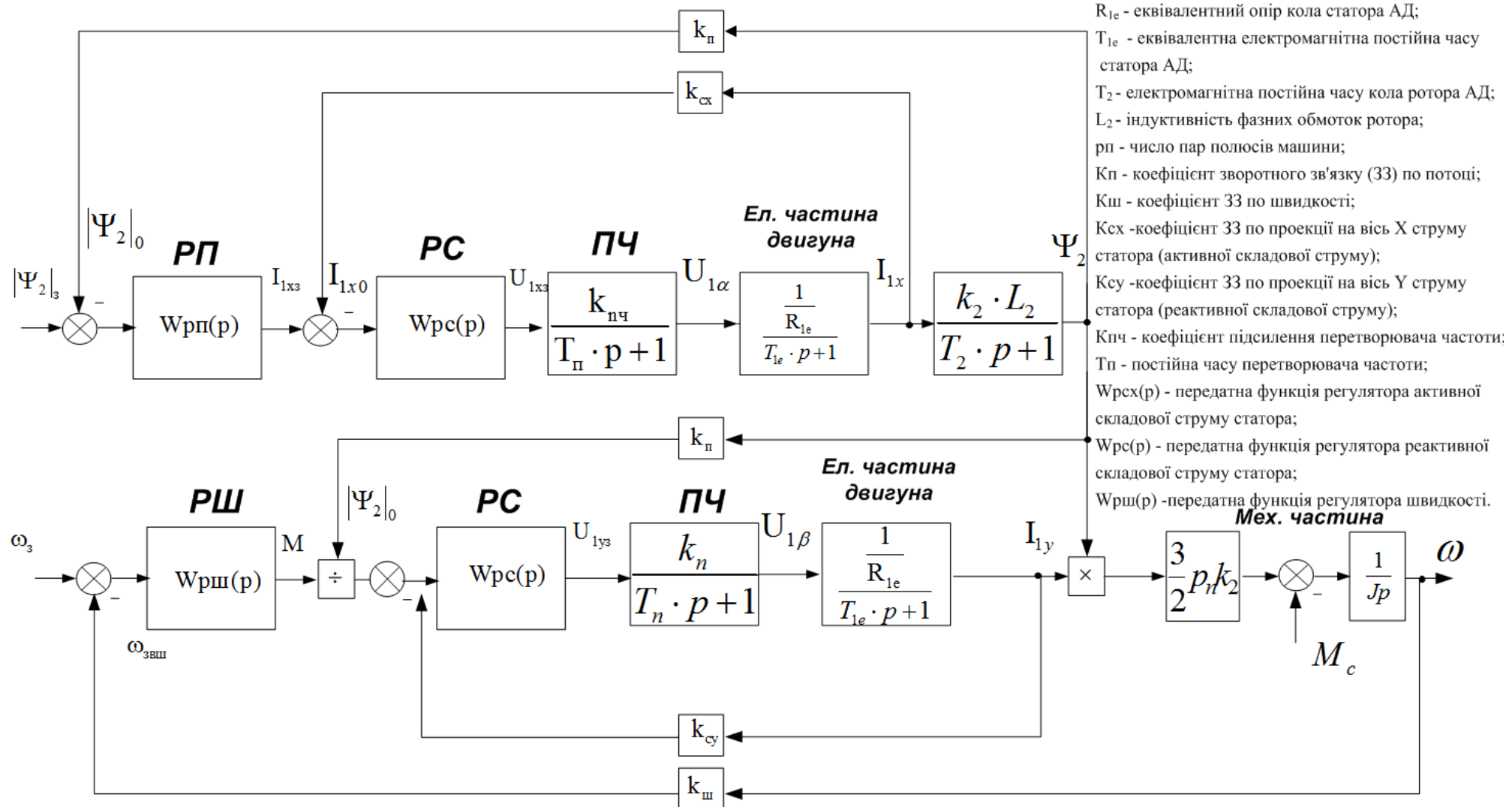


Рис. 2.2. Структурна схема системи ПЧ-АД з векторною системою керування

(розроблено з використанням [10, 11])

2.3 Розрахунок базисних значень

Для розрахунку регуляторів задаємося базисними значеннями координат електроприводу.

$$U_{\bar{6}} = \sqrt{2} \times 380 / \sqrt{3} = 310,269 \text{ В} \quad (2.1)$$

$$I_{\bar{6}} = \sqrt{2} \times I_n = \sqrt{2} \times 60,291 = 85,26 \text{ А} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} I_{1\alpha} &= I_{\bar{6}} \cdot \sqrt{\left(\frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m}\right)^2 + \left(\frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\bar{6}}}{I_{\bar{6}}}}{X_m}\right)^2} = \\ &= 55,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{-0,101 \cdot 0,543 - 8,55 \cdot 0,84}{8,558}\right)^2 + \left(\frac{8,558 \cdot 0,543 + 0,101 \cdot 0,84 - 3,6}{8,558}\right)^2} = \\ &= 74,858 \text{ А} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} I_{1\beta} &= I_{\bar{6}} \cdot \sqrt{\left(\cos \varphi - \frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m}\right)^2 + \left(\sin \varphi - \frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\bar{6}}}{I_{\bar{6}}}}{X_m}\right)^2} = \\ &= 85,26 \cdot \sqrt{0,84 - \left(\frac{-0,101 \cdot 0,543 - 8,55 \cdot 0,84}{8,558}\right)^2 + \left(0,543 - \frac{8,558 \cdot 0,543 + 0,101 \cdot 0,84 - 3,6}{8,558}\right)^2} = 149,82 \text{ А} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$I_{1\alpha\bar{6}} = I_{1\alpha} = 74,858 \text{ А} \quad (2.5)$$

$$I_{1\beta\bar{6}} = I_{1\beta} \cdot \frac{M_{кр}}{M_n} = 149,823 \cdot \frac{969,621}{293,825} = 494,417 \text{ А} \quad (2.6)$$

$$\omega_{\bar{6}} = 2\pi \times f_{\text{сн}} = 314,159 \text{ рад/с;} \quad (2.7)$$

$$\omega_{r6} = \omega_{\bar{6}} / p_n = 104,72 \text{ рад/с} \quad (2.8)$$

$$M_{\bar{6}} = M_{кр} / M_n \times P_n / \omega_{r6} = 945,3 \text{ Н} \cdot \text{м;} \quad (2.9)$$

$$\psi_{26} = L_m \times I_{1\alpha} = 5,96 \text{ Вб} \quad (2.10)$$

2.4 Розрахунок передатних функцій регуляторів

2.4.1 Розрахунок регулятора струму

Передатна функція розімкнутого контуру стабілізації струму (2.11):

$$W_{\text{розс}}(p) = W_{\text{PC}}(p) \times K_{\text{пч}} / (T_{\text{п}}p + 1) \times 1 / (R_{\text{le}} \times (T_{\text{le}}p + 1)) \quad (2.11)$$

Сумарний активний опір фази двигуна (2.12-2.13):

$$K_r = L_m / L_r = 0,08 / 0,082 = 0,967 \quad (2.12)$$

$$R_{\text{le}} = R_s + K_r^2 \times R_r = 0,101 + 0,967^2 \times 0,1 = 0,195 \text{ Ом} \quad (2.13)$$

Настроювання на модульний оптимум: $a_c = 2$, $T_{\mu} = T_p = 0,001 \text{ с}$.

Передатна функція регулятора струму (2.14):

$$W_{\text{PC}}(p) = (T_{\text{le}}p + 1) / (T_{\text{il}}p) \text{ де } T_{\text{il}} = K_c \times 2 \times T_{\text{п}} \times K_{\text{пч}} / R_{\text{le}} \quad (2.14)$$

2.4.2 Розрахунок регулятора потоку

При $a_c = 2$, $a_p = 2$, $T_{\mu c} = 0,002 \text{ с}$ передатна функція регулятора потоку (2.15):

$$W_{\text{пн}}(p) = (T_2p + 1) / (T_{\text{ин}}p) \text{ де } T_{\text{ин}} = K_{\text{п}} \times 4 \times T_{\text{п}} \times L_m / K_{\text{с1}} \quad (2.15)$$

2.4.3 Розрахунок регулятора швидкості

При $a_{\text{ш}} = 2$, $T_{\mu c} = 0,002 \text{ с}$:

$$W_{\text{рш}} = K_{\text{п}} \times K_{\text{с2}} \times J_{\Sigma} / (3 \times p_{\text{п}} \times K_r \times 2 \times T_{\text{п}} \times K_{\text{ш}} \quad (2.16)$$

2.4.4 Постійні часу

$$T_{1c} = \delta \times L_s / R_{1c} = 0,057 \times 0,082 / 0,195 = 0,024 \text{ с} \quad (2.17)$$

$$T_2 = L_r / R_r = 0,082 / 0,1 = 0,82 \text{ с} \quad (2.18)$$

2.4.5 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків

$$K_{\pi} = U_{нз} / \psi_{2б} = 10 / 5,964 = 1,677 \quad (2.19)$$

$$K_{c1} = U_{нз} / I_{1аб} = 10 / 74,86 = 0,134 \quad (2.20)$$

$$K_{c2} = U_{нз} / I_{1бб} = 10 / 494,416 = 0,02 \quad (2.21)$$

$$K_{ш} = U_{нз} / \omega_{гб} = 10 / 494,417 = 0,095 \quad (2.22)$$

$$K_{пч} = U_б / U_{нз} = 310,269 / 10 = 31,027; \quad T_{\pi} = 0,001 \text{ с} \quad (2.23)$$

2.5 Моделювання динамічних режимів роботи електропривода переміщення мосту крана

Обчислення передатних функцій регуляторів (2.24-2.27):

$$T_{11} = 0,134 \times 2 \times 0,001 \times 31,027 / 0,195 = 0,043; \quad W_{pc1}(p) = (0,0241p + 1) / (0,0426p) \quad (2.24)$$

$$T_{12} = 0,02 \times 2 \times 0,001 \times 31,027 / 0,195 = 0,00645; \quad W_{pc2}(p) = (0,0241p + 1) / (0,00645p) \quad (2.25)$$

$$T_{13} = 1,677 \times 4 \times 0,001 \times 0,08 / 0,134 = 0,004; \quad W_{pi}(p) = (0,824p + 1) / (0,004p) \quad (2.26)$$

$$W_{пш}(p) = 1,677 \times 0,02 \times 13,403 / (3 \times 3 \times 0,967 \times 2 \times 0,001 \times 0,095) = 273,5 \quad (2.27)$$

Після визначення всіх параметрів складено модель векторної системи керування в MATLAB (рис. 2.3). Підсистема Bas1 (рис. 2.6) виконує масштабування координат у відносних одиницях: $\omega_{гб} = 104,72 \text{ рад/с}$; $I_{1бб} = 149,823 \text{ А}$; $U = 10 \text{ В}$.

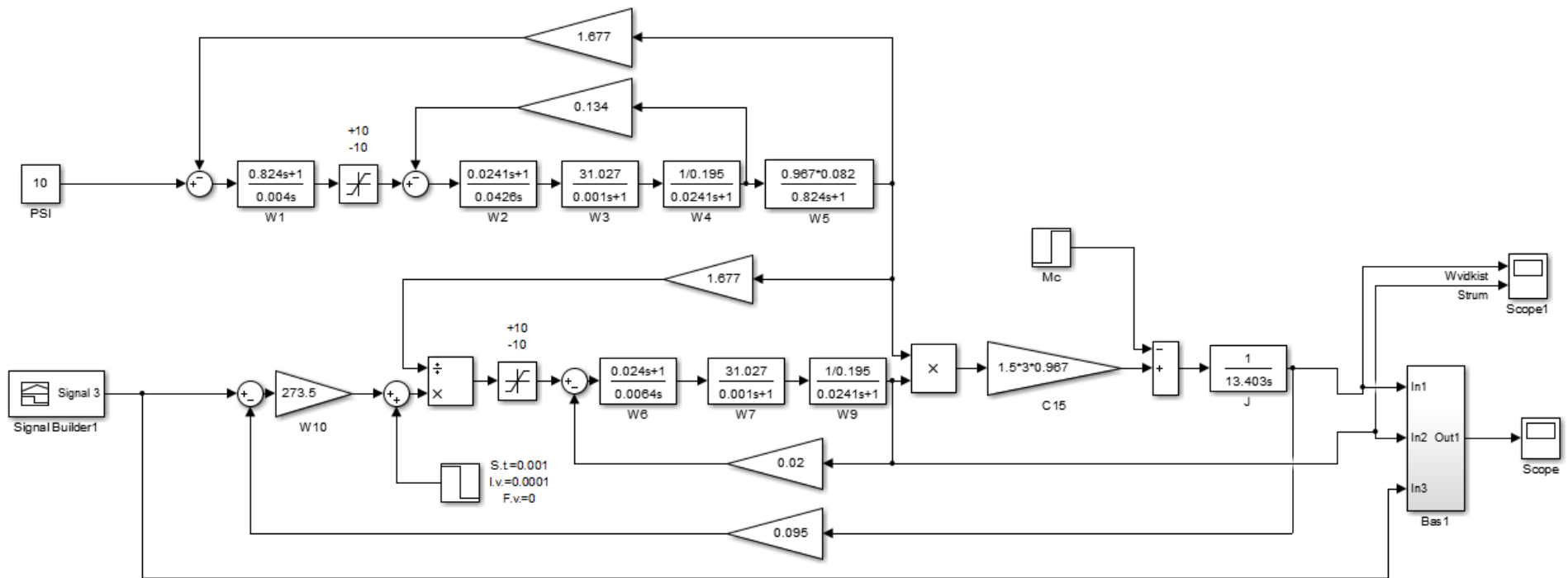
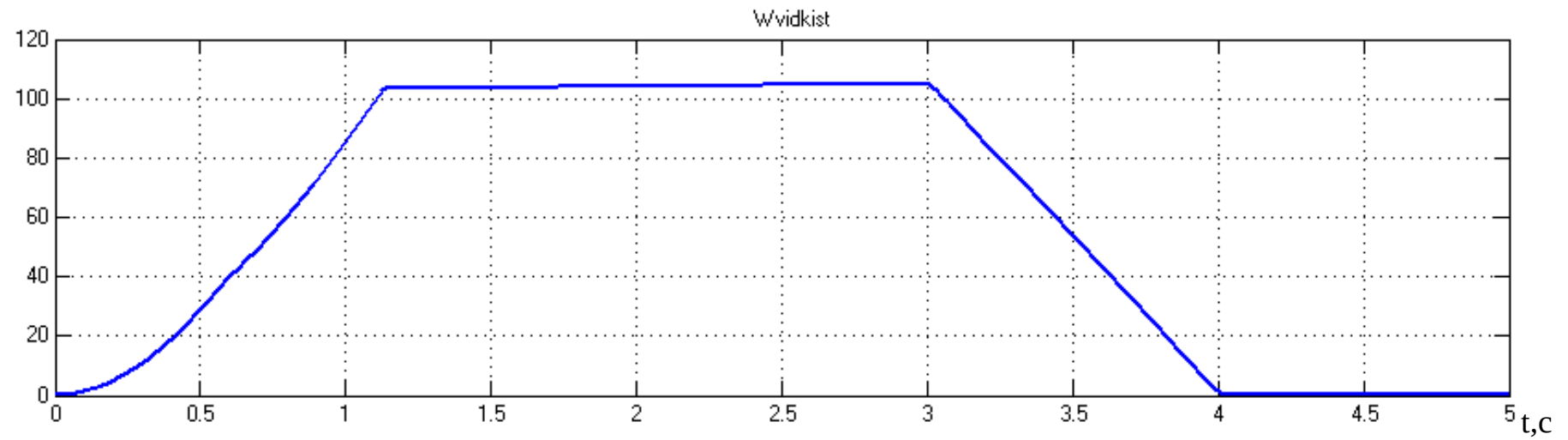


Рис. 2.3. Модель векторної системи керування електроприводом переміщення крана
(розроблено автором)

$\omega, \text{p/c}$



$I_{1\beta}, \text{A}$

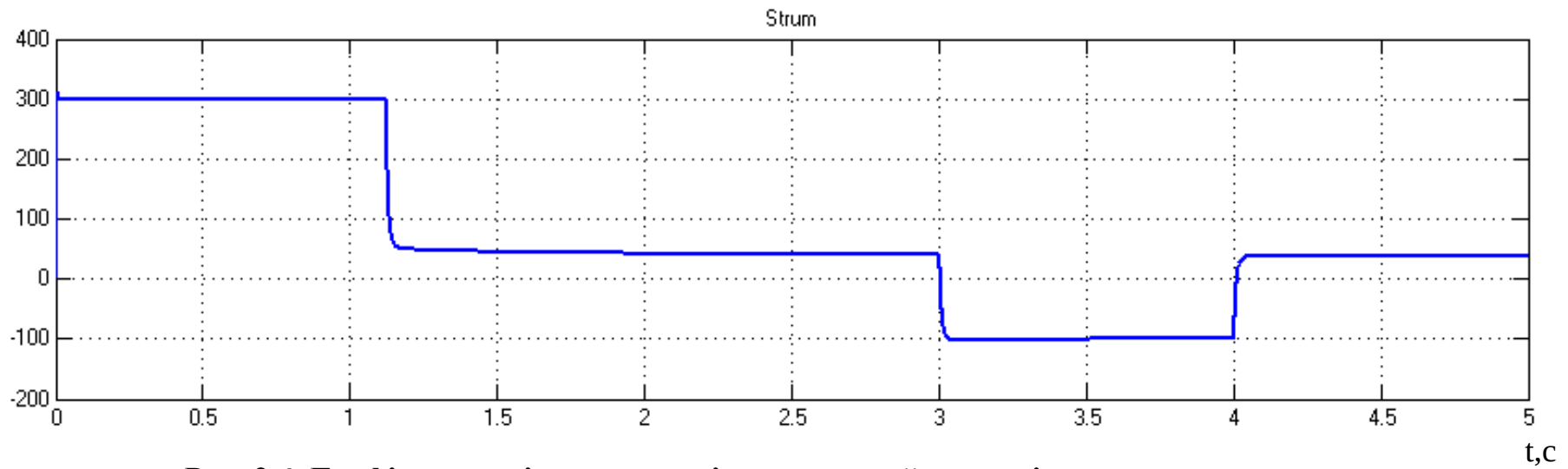


Рис. 2.4. Графіки перехідних процесів при пуску й зупинці двигуна з навантаженням

(розроблено автором)

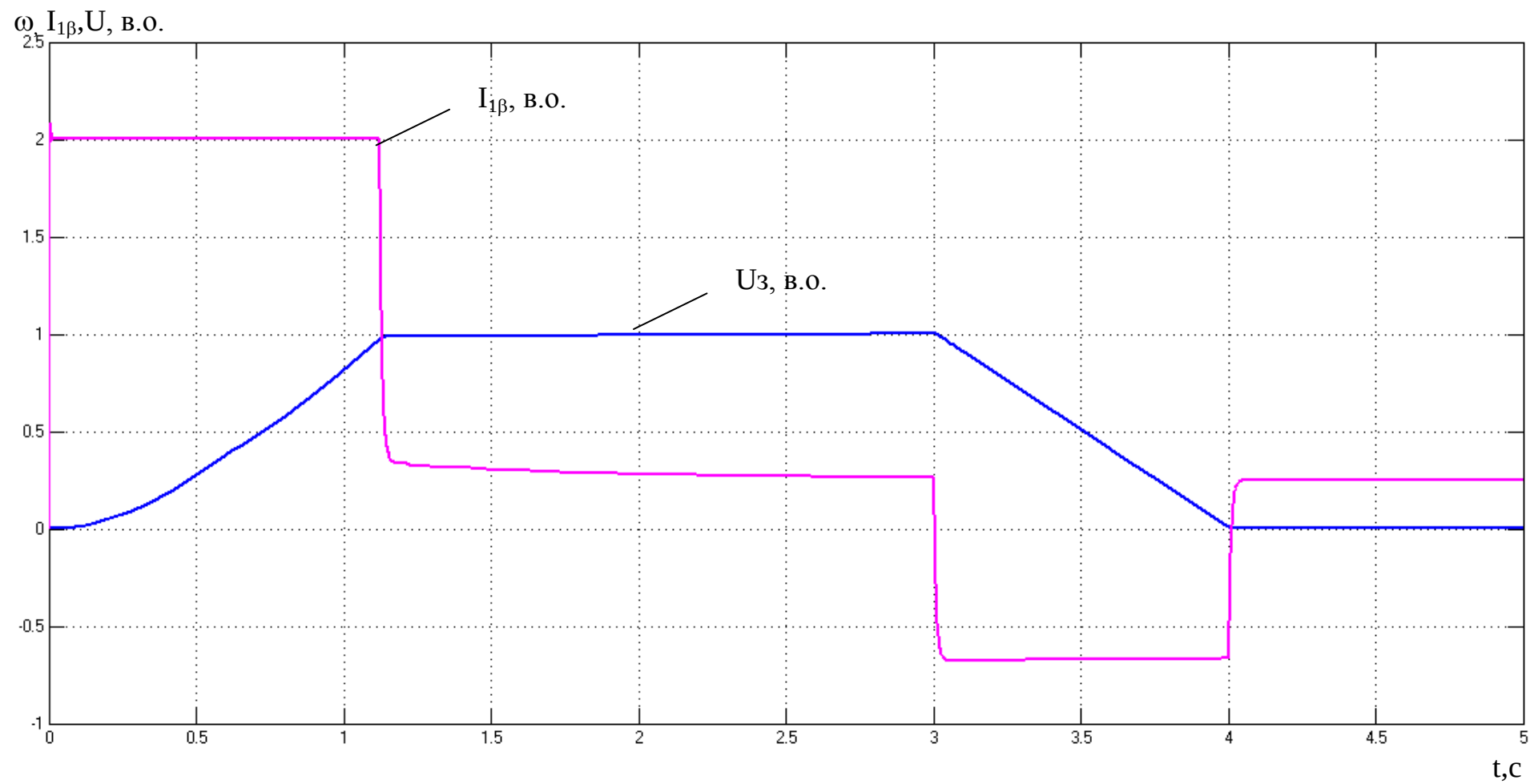


**Рис. 2.5. Графіки перехідних процесів при пуску й зупинці двигуна під навантаженням у відносних
одиницях
(розроблено автором)**

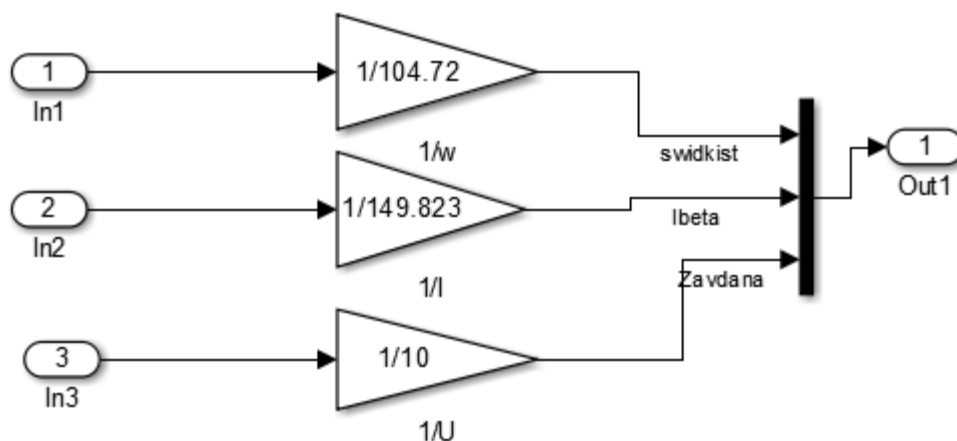


Рис. 2.6. Підсистема Bas1
(розроблено автором)

За результатами моделювання: пусковий струм не перевищує 2 I_n (проти 5-6 I_n при прямому пуску); перерегулювання за струмом - 4,3%, що відповідає налаштуванню на модульний оптимум; час розгону до номінальної швидкості - $t = 1,2$ с.

2.6 Пристрій контролю й обліку роботи електроприводів крана (МКО-ПК)

Реалізація частотного привода вирішує проблему противключення, проте не вирішує задачу накопичення та аналізу даних про стан обладнання. З цією метою розроблено пристрій МКО-ПК, що функціонує паралельно з системою керування і виконує моніторинг, діагностику та облік роботи крана. Функціональний склад МКО-ПК наведено в табл. 2.3.

Функції пристрою МКО-ПК

Група функцій	Реалізовані функції
Захисні функції	Відключення і сигналізація при перевантаженні; виявлення втрати фази, заклинювання механізму, руйнування передачі, асиметрії струмів; захист від зіткнень кранів; виявлення навмисного обходу захисту
Функції моніторингу	Контроль різниці навантажень двигунів мосту в перехідних і усталених режимах; вимірювання вібрацій редукторів у режимі реального часу
Обліково-аналітичні функції	Облік часу роботи механізмів (похибка $\leq 5\%$); розрахунок спожитої електроенергії з прив'язкою до зміни, доби, місяця; архівування подій за 30 діб із часовою міткою
Комунікаційні функції	Відображення даних на пульті машиніста; передача архіву на робочу станцію по GSM (до 9 кранів, 14,4 кбод)

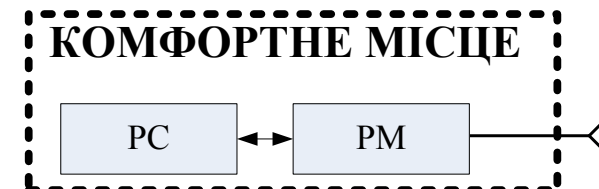
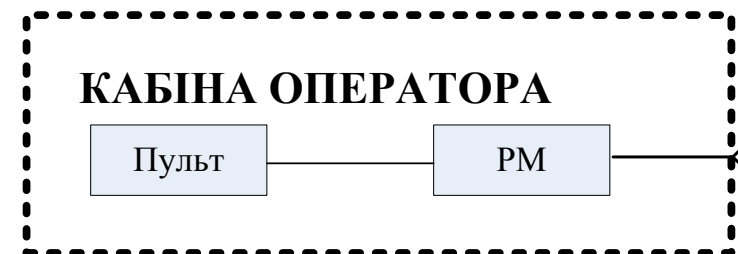
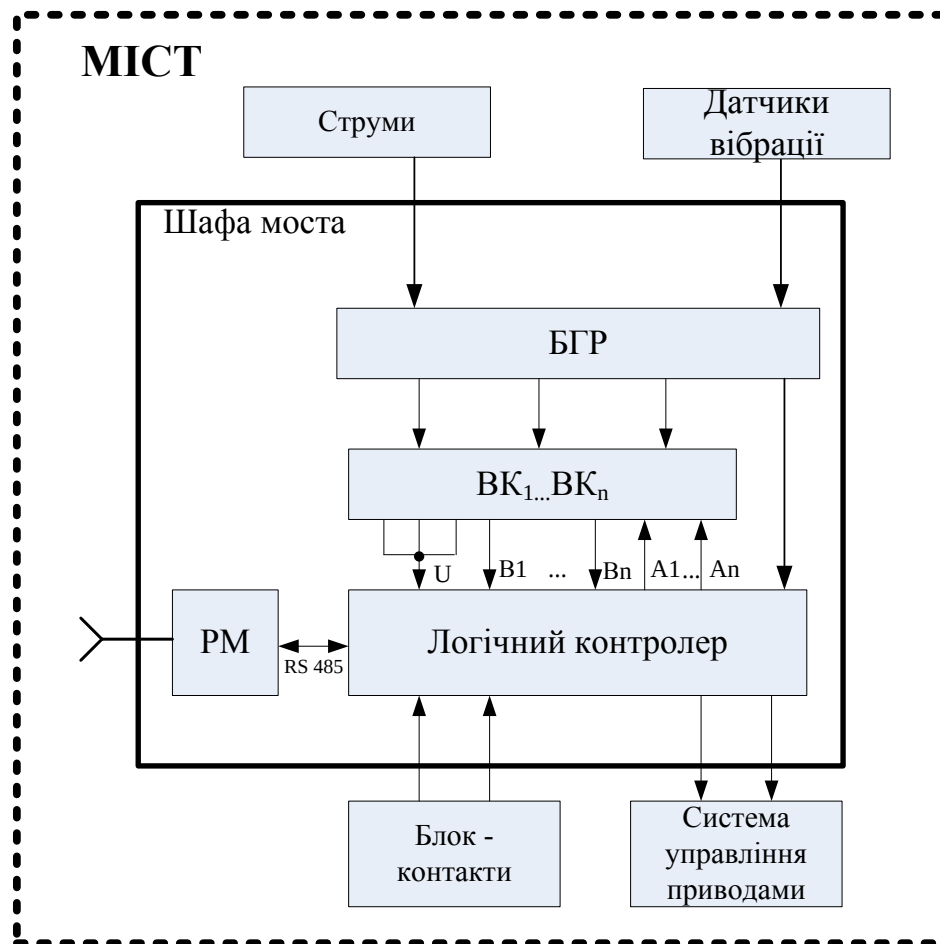


Рис. 2.7. Спрощена структурна схема пристрою МКО-ПК

БГР - блок гальванічної розв'язки і нормалізації; ВК - вимірювальний контролер;

РМ - радіомодем; РС - робоча станція

(розроблено з використанням [11, 12])

Апаратна реалізація МКО-ПК розподілена між трьома вузлами: шафа на мосту крана (логічний контролер, вимірювальні контролери ВК, блоки гальванічної розв'язки БГР, джерело живлення, радіомодем РМ1); шафа на каруселі; пульт у кабіні оператора. Робоча станція (РС) розміщується поза краном у зручному для диспетчера місці. Зв'язок РС з краном здійснюється через радіомодем РМ2.

Призначення складових: БГР перетворює сигнали струмів двигунів та датчиків вібрації до рівнів, необхідних АЦП контролерів; ВК вимірює миттєві значення фазного струму і визначає діюче значення, передаючи результати логічному контролеру за його запитом (5 ВК по 3 канали кожен); логічний контролер реалізує всі функції табл. 2.3 і управляє обміном даними з РС та пультом.

2.7 Розробка структури системи

Вибір архітектури вимірювальної частини МКО-ПК продиктований обмеженнями швидкодії стандартних модульних контролерів. Контролер з одним АЦП і 16 вхідними каналами перетворює один сигнал за не менше ніж 1 мс, що при послідовному опитуванні трьох трансформаторів струму дає похибку вимірювання 15%. Прийнято рішення використовувати виділені одноплатні вимірювальні контролери (ВК) зі швидкодією кілька десятків мікросекунд на канал - по одному на кожну групу обмоток.

Структурна схема системи (рис. 2.8) охоплює: SA1 - ввідний автоматичний вимикач; датчики фазного струму 1ДС÷5ДС по три реле струму КА1÷КА3 кожен; датчики вібрації Дв на корпусах редукторів Р; вимірювальні контролери ВК1÷ВК5; датчик напруги 1ДН; реверсивний ПЧ; сигнали напрямку і величини швидкості СУ1÷СУ3 від контролера управління КУ; лазерні далекоміри Д для захисту від зіткнень; радіомодеми РМ1, РМ2.

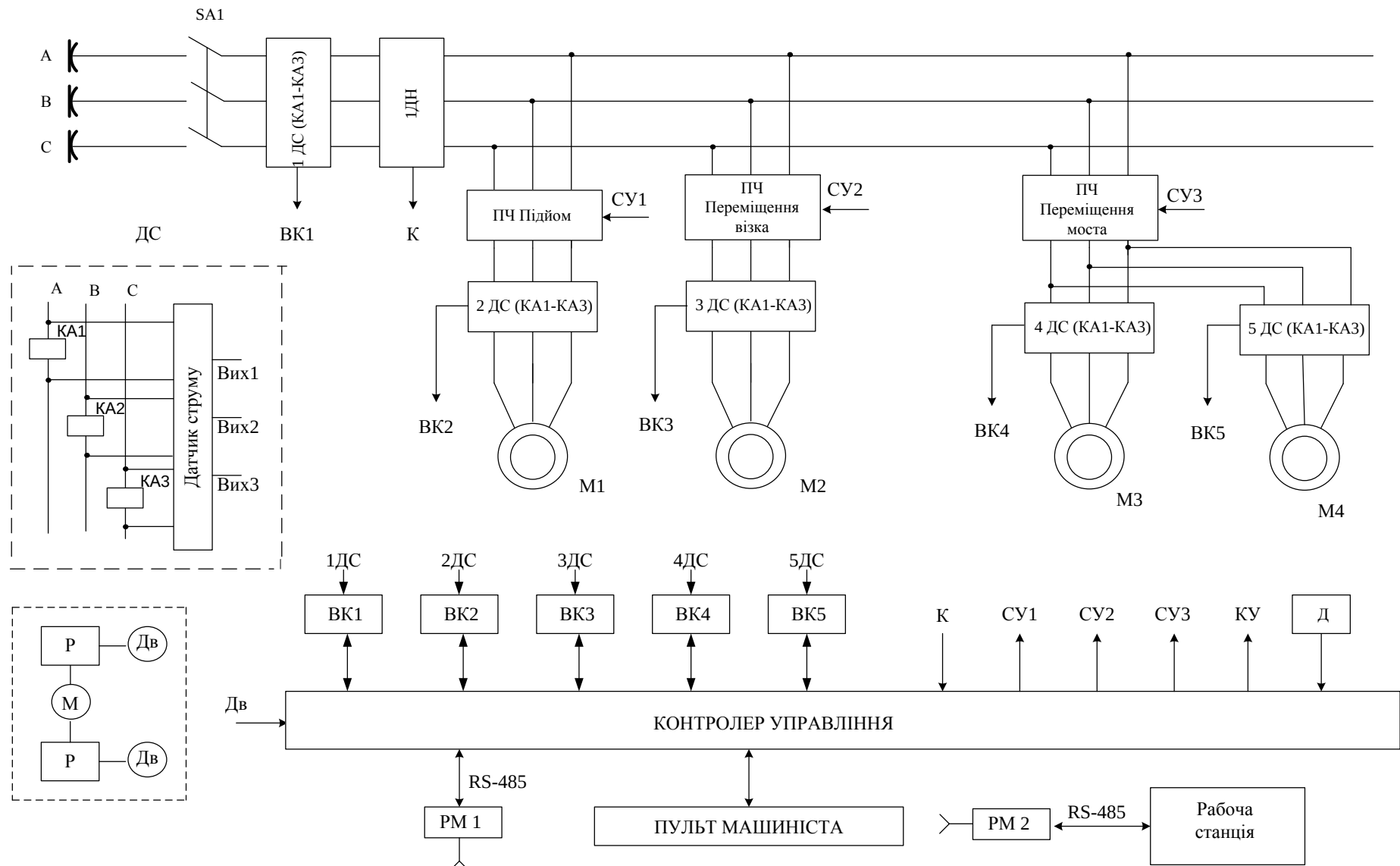


Рис. 2.8. Структурна схема системи захисту та обліку роботи крана
(розроблено автором)

2.7.1 Технічні дані МКО-ПК

Конструктивно МКО-ПК складається з трьох виробів: шафа (700×600×300 мм, IP31) на мосту крана; пульт (250×300×300 мм) у кабіні машиніста; робоча станція. Напруга живлення 380 В/50 Гц; споживана потужність не більше 75 ВА. Температурний діапазон експлуатації від -30 до +75 °С. Гарантійний строк - 18 місяців від дати постачання. Обслуговування зводиться до видалення пилу з зовнішніх та внутрішніх поверхонь шафи і пульта.

2.7.2 Організація обміну даними між краном і робочою станцією

Перелік входних/вихідних сигналів МКО-ПК наведено в табл. 2.4. На підставі порівняльного аналізу технічних даних Wi-Fi, радіо- і GSM-модемів (табл. 2.5, 2.6) обрано варіант радіомодемів.

Таблиця 2.4

Перелік входних-вихідних сигналів привода пересування мосту

Сигнали	Тип	К-ть, шт	Параметри сигналу	Звідки виходить	Куди надходить
1	2	3	4	5	6
Струм фаз (вхід)	Вх.	6	Змінний струм	Обмотки струмових реле	БГР шафи
Команда руху (вхід)	Вх.	6	Сухий контакт	Контакти реле	Модуль вводу-виводу контролера
Далекомір (вхід)	Вх.	2	Пост. струм 4-20 мА	Прилад	Модуль АЦП контролера

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6
Вібровимірювач (вхід)	Вх.	2	Пост. струм 4-20 мА	Прилад	Модуль АЦП контролера
Радіоканал (вхід)	Вх.	1	9600 бод	РС, пульт	СОМ-порт контролера
Радіоканал (вихід)	Вих.	1	9600 бод	СОМ-порт контролера	РС, пульт
Заборона роботи (вихід)	Вих.	1	Сухий контакт	Логічний контролер	Силова шафа

Примітка: всього вхідних сигналів - 22 (аналогових - 16, дискретних - 6, радіоканалів - 1); вихідних - 2 (дискретних - 1, радіоканалів - 1).

Таблиця 2.5

Структура запиту з робочої станції на отримання даних від одного крана

Найменування	К-ть, байт	Примітка
Номер крана	1	-
Номер запиту	1	Запит / відповідь на запит
Контрольна сума	2	-
Разом	4	-

Таблиця 2.6

Часи обміну даними між РС і одним контролером крана

Інтервал, год	Wi-Fi 11Мбіт/с, с	Радіо 19,2кбіт/с, с	GSM 14,4кбіт/с, с	Примітка
0,5	0,00025	0,11	10,14	Авто кожні 30 хв
24	0,012	5,28	16,91	Архів за добу
240	0,12	52,8	79,12	Архів за 10 діб
720	0,36	158,4	217,31	Архів за місяць

2.7.3 Розробка алгоритмів

Алгоритм обліку часу роботи і-го механізму (2.28):

$$\Delta t_i \rightarrow L_n, \text{ якщо } \Delta t_i = t_2 - t_1 \text{ і } I_i \leq K \quad (2.28)$$

де t_1, t_2 - моменти появи і зникнення струму, що перевищує струм власних потреб;

L_n - лічильник часу неробочого стану; K - константа рівна струму власних потреб.

Фактичний час роботи крана за годину (2.29):

$$T_{\text{роб}} = 60 - L_n \quad (2.29)$$

Технологічний облік споживання електроенергії E (2.30):

$$E = \sum_{i=0}^T 3 \cdot U_i \cdot I_i \cos \varphi, \quad (2.30)$$

де U_i , I_i - миттєві значення фазної напруги і струму через 0,5 мс; T - інтервал реєстрації.

Сигнали про перевищення різниці навантажень і різниці часів появи навантаження (2.31-2.32):

$$U_{\text{прн}} = 1, \text{ якщо } |I_{\text{дв1}} - I_{\text{дв2}}| \geq 0,3 \times I_n \quad (2.31)$$

$$U_{\text{прв}} = 1, \text{ якщо } |t_1 - t_2| \geq K \quad (2.32)$$

2.8 Склад основних технічних засобів

Склад та технічні дані основних технічних засобів МКО-ПК наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Склад основних технічних засобів та їх технічні дані

№	Найменування і технічні характеристики	Тип, марка	Од.	К-ть
1	2	3	4	5
1	Контролер (4 слоти, COM1-RS232, COM2-RS485, ОЗУ 512 кБ, Flash 512 кБ, CPU 80 МГц)	ICP DAS I-8411-G	шт.	1
2	Модуль аналогових входів (8 входів, 14 bit, ізоляція 3000 В, ± 20 мА)	ICP DAS I-8017H-G	шт.	1
3	Модуль дискретних входів/виходів (16 вх., 16 вих., ізоляція 3750 В)	ICP DAS I-8042-G	шт.	1

Продовження табл. 2.7

1	2	3	4	5
4	Вимірювальний контролер (RS-485, RS-232, 8 дискр. вх., 6 дискр. вих., 4 аналог. вх.)	3379279.007-10-KEM	шт.	3
5	Блок гальванічної розв'язки (вх. 0-5 В змін., вих. 0-5 В пост., живлення 24 В, ізоляція 3000 В)	PSA-01.01.14.02.02.8	шт.	5
6	Блок живлення 50 Вт (вхід 380 В 50 Гц, вихід 24 В пост.)	50ДП	шт.	1
7	Радіомодем	CB-101	шт.	2
8	Далекомір	Dimetix EDS-C	шт.	2
9	Датчики вібрації	HS-420I	шт.	2

2.8.1 Радіомодем CB-101

Радіомодем CB-101 призначений для приймання і передачі даних по радіочастотному каналу. Технічні характеристики наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Технічні характеристики радіомодема CB-101 [13]

№	Найменування параметра	Од.	Значення
1	2	3	4
1	Габаритні розміри не більше	мм	67×65×32
2	Маса не більше	кг	0,1
3	Режим роботи	-	напівдуплексний

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4
4	Канальна швидкість модуляції	бод	4800
5	Вид модуляції	-	GFSK
6	Діапазон частот	МГц	ISM 433,05-434,79
7	Кількість каналів	-	69
8	Крок сітки частот	кГц	25
9	Вихідна потужність не більше	мВт	10
10	Споживана потужність не більше	Вт	0,25
11	Ймовірність безвідмовної роботи за 1000 год	-	0,94
12	Середній термін служби не менше	років	10
13	Температура середовища	°С	від -20 до +50

2.8.2 Блок живлення 50ДП

Блоки живлення серії 50ДП призначені для стабілізованого живлення пристроїв промислової електроніки та автоматики. Технічні характеристики наведено в табл. 2.9.

Технічні характеристики блока живлення 50ДП [14]

Найменування параметра	Од.	Параметр
Номінальна вхідна напруга	-	~220 В
Діапазон вхідних напруг	В	від ~150 до ~250
Частота живильної мережі	Гц	47-430
Вихідна номінальна напруга	В	12
Точність установки напруги	%	2
Загальна нестабільність напруги	%	4
Номінальний вихідний струм	А	4
Номінальна вихідна потужність	Вт	50
Максимальна вихідна потужність	Вт	60
ККД	%	82
Напруга ізоляції вхід-вихід	кВ	4
Температурний діапазон експлуатації	°С	від -10 до +50
Відносна вологість	%	<90

2.8.3 Вібровимірювачі

Відповідно до [15] інтенсивність вібрацій визначається як СКЗ швидкості вібрації в діапазоні 10-1000 Гц; виміри проводяться у трьох напрямках. Допустимі механічні впливи: вібрація і удари від пересування механізмів - 5 Гц при прискоренні до 5 м/с²; поодинокі повторювані удари - до 30 м/с². Обрано датчик вібрації HS-420I [16] (табл. 2.10), встановлюваний на корпуси редукторів.

Технічні характеристики датчика вібрації HS-420I [16]

Найменування параметра	Од.	Параметр
Діапазон виміру віброшвидкості	мм/с	0-10 до 0-100 (СКЗ ±10%)
Діапазон робочих частот	Гц	10-1000 ±5% [15]
Частота резонансу	кГц	мін. 5
Поперечна чутливість	%	< 5
Максимальна вібрація	-	50 g
Вихідний сигнал по віброшвидкості	мА	4-20 (пост. струм, пропорційно СКЗ)
Напруга живлення	В	15-30
Час установки сигналу	с	2
Опір ізоляції	МОм	>100 при 500 В
Температура навколишнього середовища	°С	від -25 до +90
Ступінь захисту	-	IP 67
Матеріал корпусу	-	нержавіюча сталь
Принцип виміру	-	п'єзоелектричний / стиск
Монтажний момент	Нм	8
Маса	г	150

2.8.4 Стационарний лазерний далекомір

Лазерний далекомір Dimetix EDS-C - серія точних вимірювальних пристроїв для визначення відстаней до стаціонарних і рухомих об'єктів; промінь відбивається від будь-яких поверхонь (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Технічні характеристики Dimetix EDS-C [17]

Найменування параметра	Од.	Параметр
Точність вимірів	%	$< \pm 0,3$ (мін. 3 мм)
Середня точність вимірів	мм	$< \pm 1,5$
Діапазон виміру	м	0,05-30
Частота вимірів	Гц	до 30
Діапазон робочих температур	°C	від -10 до +50
Ступінь захисту	-	IP65
Напруга живлення	В	24
Лазер	-	червоний, видимий
Габаритні розміри	мм	106×62×45
Маса	г	280
Вихідний сигнал	мА	0; 4-20

2.9 Розробка принципової схеми системи

Принципова схема управління механізмом переміщення крана (рис. 2.9) ілюструє, що привод мосту має частотне керування і живиться від одного ПЧ для обох двигунів. Характерна особливість - застосування двох контролерів: вимірювального (ВК) та керуючого (КК). ВК вимірює фазові струми і передає діючі значення до КК за запитом. КК виявляє аварійні стани (перевантаження, обрив фази, асиметрія) і формує команди управління. Обмін між контролерами - через 3 біти вибору ВК і 2 біти номеру каналу реле струму.

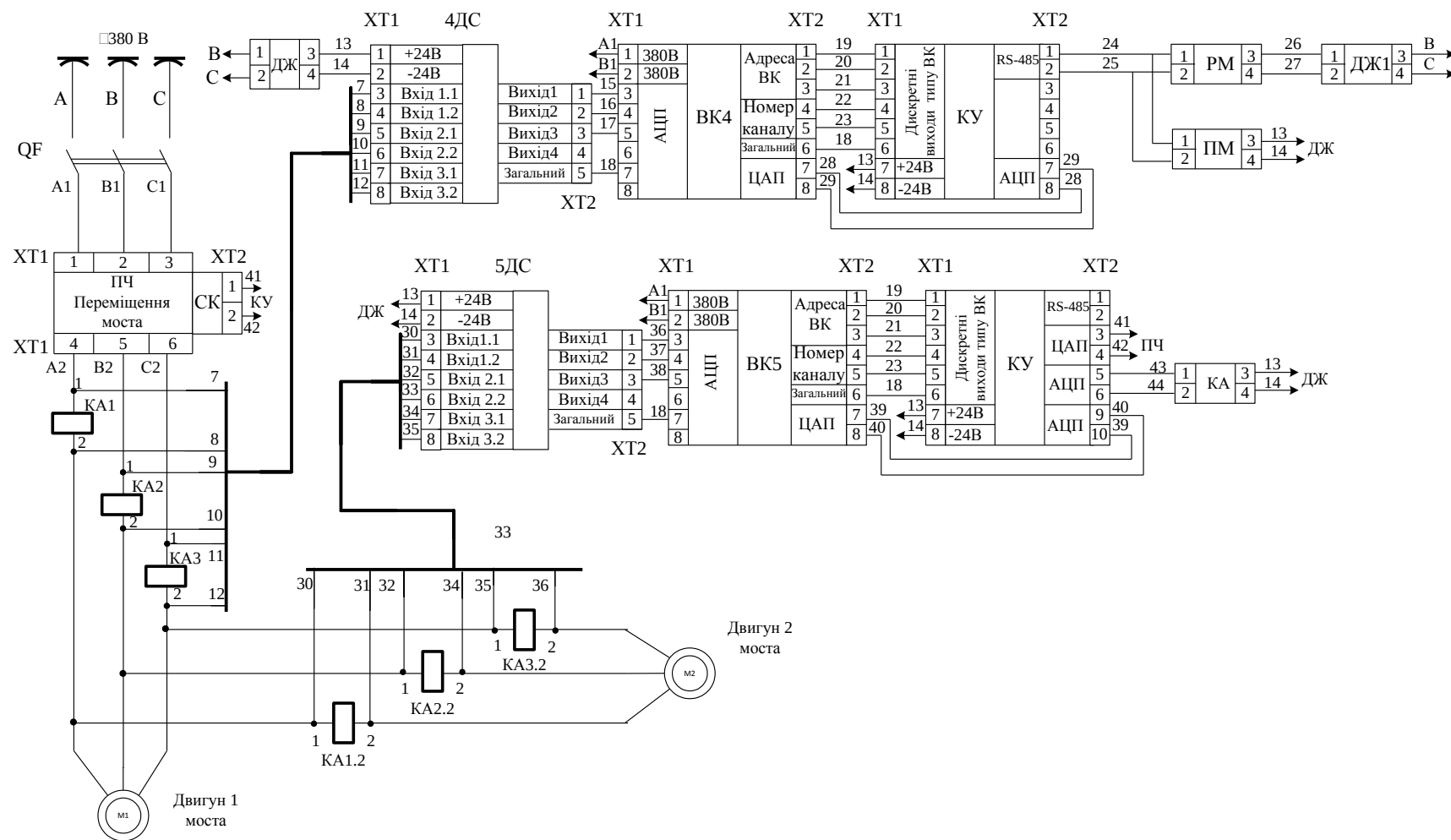


Рис. 2.9. Схема електрична принципова керування приводом переміщення мосту

QF - автоматичний вимикач; ПЧ - перетворювач частоти; СК - сигнал керування;

ДЖі - джерело живлення; ВКі - вимірювальний контролер;

КУ - контролер управління; РМ - радіомодем; ПМ - пульт машиніста; КА - командоапарат
(розроблено автором)

2.11 Заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності

Технологічна лінія РЗФ-1 включає дві гілки перевантаження концентрату і систему конвеєрів для подачі на агломераційну фабрику. Грейферні крани забезпечують накопичення готової продукції та її відвантаження споживачеві. Завантаження і розвантаження супроводжуються підвищеною запиленістю, шумом і вібрацією.

Основні небезпечні фактори (табл. 2.12): пил, шум, вібрація, електричний струм, рухомі частини конвеєрів і кранів. Аналіз даних таблиці свідчить, що запиленість повітря і температура у теплу пору суттєво перевищують нормативні значення, рівень освітленості є недостатнім.

Таблиця 2.12

Шкідливі і небезпечні фактори складу концентрату [19; 20; 21; 22]

Фактори виробничого середовища	Од.	Нормативне значення	Фактична величина
1	2	3	4
Запиленість повітря	г/м ³	6,0	7,0-16,1
Шум	дБ	85	72-82
Температура у теплий час	°С	на 3° > t _{макс} річної	23-37
Температура у холодний час	°С	22-25	19-25
Відносна вологість у теплий час	%	55	40-60
Відносна вологість у холодний час	%	40-75	40-60

Продовження табл. 2.12

Швидкість руху повітря у теплий час	м/с	0,2-0,5	0,2
Швидкість руху повітря у холодний час	м/с	0,2	0,2
Вібрація	дБ	101	99
Освітлення	лк	100	86

Заходи щодо поліпшення умов праці: збільшення висоти бортів завантажувального лотка; сучасні системи витяжної і приточної вентиляції; металургійний кондиціонер КМ-7-ПС у кабіні крана; проходи шириною 1-2,5 м з поруччям висотою 1,2 м та зашиттям 15 см; комбіноване штучне освітлення; пілозахисні окуляри.

Для захисту від ураження електричним струмом: ізоляція струмоведучих частин; захисні огорожі з комірками $< 25 \times 25$ мм, висота $\geq 1,7$ м; блокування (дверцята в огорожі відкриваються лише при вимкненому рубильнику); захисне заземлення всіх металоконструкцій відповідно до [22; 23]. Застосовуються ЗІЗ: діелектричні рукавички, ізолюючі штанги, кліщі, покажчики напруги.

Приміщення складу відноситься до категорії В пожежонебезпечності. Для запобігання пожежам: регулярне ТО електромережі та обладнання; запобіжники та автоматичні вимикачі; заземлення та занулення; системи пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння. Протипожежний інвентар крана наведено в табл. 2.13.

Засоби пожежогасіння крана [24]

№	Найменування	К-ть, шт.
1	Вогнегасник ВХП-10	1
2	Вогнегасник ВВ-2	1
3	Ящик з піском 0,5 м ³	1
4	Цебро пожежне	1

Протипожежні заходи доповнені: протипожежними водоймами, перешкодами для запобігання поширенню вогню, не менше двох евакуаційних виходів. Система пожежної сигналізації забезпечує виявлення займання на початковій стадії; запуск - автоматичний або ручний.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто характеристики закритого складу концентрату РЗФ-1 ПАТ «ІнГЗК», проаналізовано конструкцію і режими роботи мостового грейферного крана, сформульовано завдання управління і вимоги до електроприводу.

На підставі аналізу існуючих систем електроприводу та результатів досліджень динамічних режимів обрано систему ПЧ-АД. Запропоновано заміну системи силового обладнання і регулювання двигунів пересування мосту на частотно-керований привод із двигунами з КЗ ротором. Впровадження системи забезпечує: точне і плавне регулювання швидкості і моментів незалежно від маси вантажу; безударний розгін і плавне гальмування; комплексний захист двигунів; кероване гальмування засобами електропривода; скорочення споживання електроенергії; підвищення $\cos\phi$; поліпшення умов праці машиніста; підвищення надійності обладнання.

Розроблено структуру і алгоритмічне забезпечення МКО-ПК. Обрано та обґрунтовано технічні засоби: контролери ICP DAS, блоки PSA-01, радіомодеми CB-101, далекоміри Dimetix EDS-C, датчики вібрації HS-420I. За результатами порівняльного аналізу варіантів бездротового зв'язку обрано радіомодеми.

Виконано розрахунок параметрів схеми заміщення АД, синтез регуляторів векторної системи керування, моделювання в MATLAB. Результати моделювання підтверджують відповідність динамічних характеристик вимогам технологічного процесу: пусковий струм не перевищує $2I_n$, час розгону до номінальної швидкості - 1,2 с.

Розроблено заходи з охорони праці та безпеки для умов роботи складу концентрату РЗФ-1.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Bureau Veritas Certification. Сертифікація за ISO 9001. URL: <https://www.bureauveritas.com.ua/needs/iso-9001-sertyfikatsiya> (дата звернення: 14.04.2026).
2. Паспорт грейферного крана мостового КМГ вантажопідйомністю 20 т. Кривий Ріг : ПАТ «ІнГЗК», 2015. 48 с.
3. Контролер кулачковий ККТ-61А. URL: <https://aip.com.ua/dlya-kрана/kontrolery-kkt/kkt-61/> (дата звернення: 16.04.2026).
4. Грейфер: принцип роботи і різновиди. URL: <https://gardenunion.com.ua/grejfer-princip-roboti-20/> (дата звернення: 17.04.2026).
5. Ткаченко Г.І., Пирогов А.В., Мохнатий А.В. та ін. Дослідження привода переміщення моста крана при роботі в режимах противключення. *Металургійна і гірничорудна промисловість*. 2010. № 4. С. 122-125.
6. Дзюба Д.П., Яковенко В.О. Підйомно-транспортні машини : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. 310 с.
7. Іванченко Ф.К. та ін. Розрахунки вантажопідйомних і транспортуючих машин. Київ : Вища школа, 1975. 520 с.
8. Boldea I., Nasar S.A. The Induction Machine Design Handbook. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press / Taylor & Francis Group, 2010. 840 p.
9. Рогаль В.Ф., Попов В.А. Електричні машини : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 352 с.
10. Holmes D.G., Lipo T.A. Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice. New York : IEEE Press / Wiley-Interscience, 2003. 724 p.
11. Косенко Р.А. Моделювання системи векторного керування асинхронним двигуном. *Вісник Чернігівського НТУ*. 2014. № 1 (71). С. 145-152.
12. Ткаченко Г.І., Пирогов А.В., Баленко Ю.В. та ін. Вимірювання струмів при великому діапазоні їх зміни. *Промислові вимірювання, контроль, автоматизація та діагностика*. 2009. № 1. С. 28-29.

13. Радіомодем СВ-101. URL: <https://zapadpribor.com/radiomodem-sv-101/> (дата звернення: 23.04.2026).
14. Блок живлення 50ДП-24. URL: <https://agent-007.com.ua/blok-pitaniya-50dp-24> (дата звернення: 23.04.2026).
15. ДСТУ ГОСТ ИСО 10816-1:2007. Вібрація. Контроль стану машин за наслідками вимірювань вібрації на частинах, що не обертаються. Частина 1. Загальні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73091 (дата звернення: 23.04.2026).
16. Датчик вібрації HS-420I. URL: <http://www.promsat.com/page/1820/> (дата звернення: 23.04.2026).
17. Лазерний далекомір Dimetix EDS-C. URL: <http://interautomatic.com.ua/partners/shvejcarskoe-oborudovanie/dimetix/eds-c/> (дата звернення: 05.05.2026).
18. ПАТ «ІнГЗК» : офіційний сайт. URL: <https://ingok.metinvestholding.com/ua/about/info> (дата звернення: 05.05.2026).
19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999.
20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999.
21. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Київ : МОЗ України, 1999.
22. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1998.
23. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) : затв. наказом Мін. палива та енергетики України від 21.06.2006 № 272. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 05.05.2026).
24. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 05.05.2026).



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-4д-2026врб

Автор

141-4д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документа

334133381

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.



КП 1

6775

Кількість слів



КЦ

46689

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		40
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		38

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, *Вовк Олександр Олександрович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Електропривод переміщення моста грейферного крана в умовах РЗФ-1 ПАТ «Інгулецький ГЗК» 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