

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему «Оптимізація параметрів грейферного крану з метою
підвищення його продуктивність»

Керівник роботи

Миколай ГОЛОТЮК

Консультант від
бази практики

Андрій КІТАШОВ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Іван ХАРЧЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Харченкові Івану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Оптимізація параметрів грейферного крану з метою підвищення його продуктивності
керівник роботи Голотюк Микола Віталійович, доцент, кандидат техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023
2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані гірничо-збагачувального комбінату, результати власних експериментів та досліджень тощо
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Дослідження системи керування). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Грейферний кран. Технологічний процес виконання робіт грейферним краном. Представлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
2	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
3	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС
4	Голотюк М.В, доцент кафедри АВЕРС

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

(Харченко Іван Олександрович)

Керівник роботи

(Голотюк Микола Віталійович)

АНОТАЦІЯ

Харченко Іван Олександрович. Оптимізація параметрів грейферного крана з метою підвищення його продуктивність - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом є дослідження електропривода механізму підйому та замикання грейферного крана вантажністю 16 тон.

Предмет дослідження є системи мехатронного обладнання, які керують процесом перетворення енергії в електроприводі та забезпечують надійність в експлуатації машини.

У першому розділі проаналізована предметна область використання грейферних кранів на одному з ГЗК України (далі – ГЗК). Надана загальна характеристика технологічного процесу та наявної системи автоматизації. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, обґрунтовано вибір всіх технічних складових робото-технічного комплексу, виконання теоретичних досліджень, аналіз поточного процесу відновлення та розробка його покращеної версії, визначення параметрів об'єкта дослідження, а також розробка та обґрунтування мехатронної системи.

У третьому розділі наведено методикку визначення характеристики динамічних блоків, виконане моделювання їхніх динамічних режимів. Крім того, розроблено математичну модель із

прямим управлінням моментом і проведено моделювання режимів перехідних процесів.

У четвертому розділі наведено відповідні розрахунки, що підтверджують економічну обґрунтованість впровадження запропонованої зміни в організації виробничого процесу машини.

Ключові слова: грейферний кран, асинхронний двигун, електропривод, автоматизація, система керування моментом, частотний перетворювач

Апробація результатів:

1. Kharchenko I.V., Holotiuk M.V. Study of gripper productivity and safety bridge cranes. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 74–76.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-104>

2. Харченко І., Мазан Б. Підвищення продуктивності та безпеки грейферних мостових кранів шляхом мехатронних та автоматизованих систем / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 148-150 с.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз предметної області	9
1.1. Опис обладнання та технологічного процесу	9
1.2. Особливості використання грейферного крана	17
2. Теоретичні дослідження	23
2.1. Визначення оптимальної системи електроприводу	23
2.2. Обґрунтування і вибір мехатронної системи	30
3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	51
3.1. Мета та методи експериментальних досліджень	51
3.2. Результати досліджень із аналізом отриманих результатів	52
3.3. Дослідження системи керування	65
4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	68
4.1. Розрахунок витрат на модернізацію	68
4.2. Плив грейферного крана на цикл збуту на підприємстві	75
4.3. Аналіз запропонованих змін	77
Висновки	79
Список використаних джерел	80
Додатки	84

ВСТУП

Один із найбільш трудомістких етапів переміщення вантажів з одного засобу транспорту на інший полягає у перевантаженні навалювальних матеріалів за допомогою грейферних мостових кранів. Канатні грейфери широко застосовуються в різних сферах реального сектора економіки. Одним із транспортних потоків у гірничо-металургійній промисловості застосовують грейферні крани у підготовці виробництва або навантаження готової продукції, що безпосередньо впливає на ефективність основних параметрів виробництва організації та головним завданням стає підвищення безпечної експлуатації та подовження тривалості робочого циклу. Таким чином, підвищення продуктивності грейферного крана шляхом оптимізації параметрів механізмів значення для виробничого комплексу.

Ефективна робота вантажно-підйомних механізмів пов'язана з використанням грейферів, які мають достатню міцність, надійність і високу зачерпуючу здатність. Високопродуктивність роботи грейферних кранів значно збільшує свою ефективність в логістиці підприємства.

Основними тезами підвищення ефективності грейферних кранів при операціях з перенавантаженням сировини пропоную розглянути застосування мехатронних систем та автоматизації обладнання. На основі трансформації обладнання шляхом автоматизації процесів можливо перейти від традиційних методів до рівня прогресивних технологій, які дають можливість підвищити ключові показники рівня безпеки та продуктивності процесів.

Шляхи оптимізації параметрів компонування грейферного крана є: заміна елементів механізмів підйома та замикання, що сприятиме на збільшення потужності та швидкості, забезпечить більш

точним та надійним керуванням. Нові електродвигуни будуть сумісними з мехатронними системами, а саме частотним керування приводом, що сприятиме автоматизації машини та удосконаленню загальної ефективності механізму. Сучасні мехатронні системи повинні бути обладнані приводами, які відповідають високим і водночас, суперечливим вимогам. Структура приводів повинна забезпечувати можливість автономного та координованого (згідного) регулювання переміщень, швидкостей та сил (моментів). Це має відбуватися при високій точності позиціонування без перерегулювання, великому коефіцієнті форсування по моменту, максимальній швидкодії та плавності переміщення робочого органу мехатронної системи при змінних навантаженнях та моментах інерції. Крім того, система повинна забезпечувати надійну фіксацію в точках позиціонування, відсутність перехідних режимів при перемиканні структури привода, а також мінімізацію маси та габаритів електромеханічних модулів при високій надійності всіх їхніх елементів.

Метою дипломного проєкту є модернізація застарілого електрообладнання грейферного крана КМ-20-34-24 РЗФ-1 ГЗК для підвищення його продуктивності. Процес охоплює підвищення надійності роботи завдяки впровадженню мехатронні системи з використанням безконтактних засобів керування.

Задача дослідження електропривод механізму підйому та замикання грейферного крану вантажністю 16 тонн.

Предмет дослідження є системи мехатронного обладнання, які керують процесом перетворення енергії в електроприводі та забезпечують надійність в експлуатації машини.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Опис обладнання та технологічного процесу

Грейферний кран представляє собою вид вантажопідйомного обладнання, що базується на мостовому крані та оснащений грейфером – пристроєм для захоплення вантажу. Грейфер виглядає у вигляді ковша з обертовими щелепами, які використовуються для захоплення або збирання різних видів вантажу, таких як сипучі матеріали, залізничний концентрат та інша сировина металургічної галузі.

Грейферний кран КМ-20-34-24 (додаток 1), вантажопідйомністю 16 тон, встановлений і експлуатується на ділянці складів концентрату ГЗК.

Грейферний кран КМ-20-34-24 складається з наступних основних елементів (рис. 1.1): 1 - балки головна; 2 - балки кінцеві; 3 - візок вантажний; 4 - укриття візка; 5 - механізм пересування крана; 6 - грейфер; 7 - майданчик обслуговування струмопідведення до крана (люлька); 8 - кабіна управління; 9 - електроприміщення; 10 - сходи знімні; 11 - сходи поворотні.

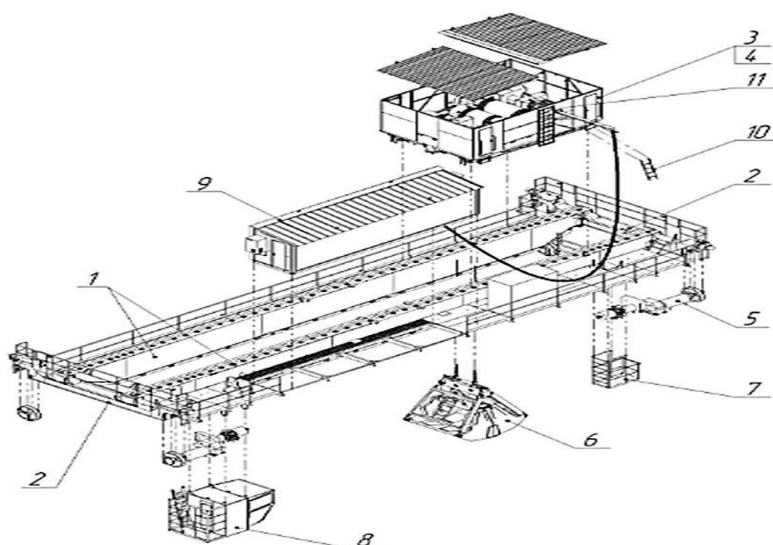


Рис. 1.1 - Кран грейферний мостовий КМ-20-34-24

Технічна характеристика крана грейферного мостового КМ-20-34-24 у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Технічна характеристика грейферного крана

Параметри	Значення
1	2
Вантажопідйомність грейфера, т	16
Висота підймання грейфера, м	24
Проліт крана, м	34,5
База крана, м	5,25
Статичне випробування, т	25,0
Динамічне випробування, т	22,0
Швидкість механізму пересування крана, м/хв	50,0
Швидкість механізму вантажного візка, м/хв	22,8
Швидкість механізму підймання грейферу, м/хв	2,14
Місце керування	з кабіни
Спосіб підведення струму: до крана до вантажного візка	тролеї гнучкий кабель
Вага крана повна, т	88,3

Група кваліфікації механізмів грейферного крана ISO 4301/1.
Режим роботи механізмів А6 (вельми важкий).

Характеристика електродвигунів крана грейферного у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Характеристика електродвигунів

Параметри	Механізм, на якому встановлено електродвигун			
	Підймання грейферу	Замикання грейферу	Пересування	
			крана	візка
1	2	3	4	5
Тип і умовне позначення	МТА-711-10У2	МТА-711-10У2	МТФ 411-6	МТФ 311-6
Рід струму	змінний	змінний	змінний	змінний

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Напруга, В	380	380	380	380
Частота, Гц	50	50	50	50
Номінальна потужність, кВт	100	100	22	7,5
Частота обертання, (об/хв)	580	580	965	695
Кількість, шт.	1	1	2	1

Характеристика гальм крана грейферного у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Характеристика гальм

Параметри	Механізм, на якому встановлено електродвигун			
	Підіймання грейферу	Замикання грейферу	Пересування	
			крана	візка
1	2	3	4	5
Тип, система	ТГМ 80-У2	ТГМ 80-У2	ТГМ 50-У2	ТГМ 25-У2
Кількість гальм, шт.	2	2	2	1
Тип колодковий	+	+	+	+
Розрахунковий мінімальний шлях гальмування, мм	625	625	1820	770
Коефіцієнт запасу гальмування	1,25	1,25	1,25	1,5

Характеристика механізму підіймання крана грейферного у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Характеристика механізму підіймання

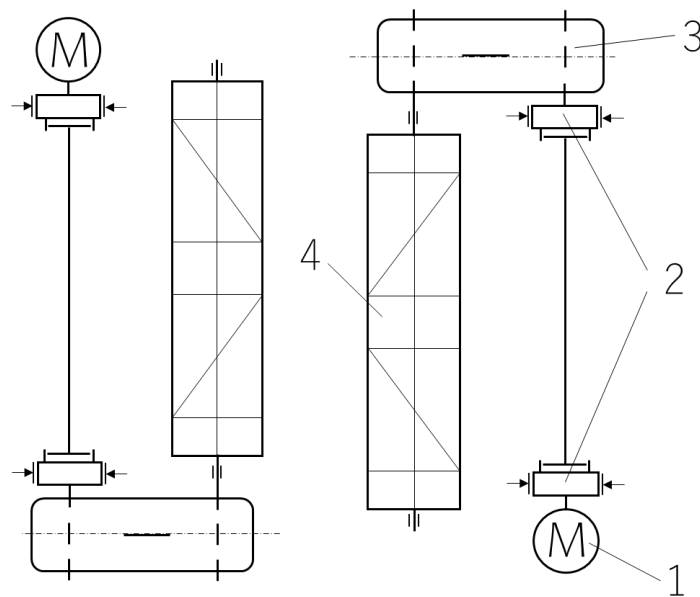
Параметри	Тип передачі	Діаметр барабана, мм	Діаметр поліспасти, мм	Діаметр зрівняльних блоків	Число гілок поліспасти	К.П.Д. поліспасти
1	2	3	4	5	6	7
Підіймання грейферу	зубчаста	880	-	-	2	0,97
Замикання грейферу	зубчаста	880	500	500	2	0,97

Швидкість механізмів грейферного крана надана в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 Швидкість механізмів

Механізм	Швидкість, м/хв
1	2
Пересування моста	50,0
Вантажний візок	22,8
Підіймання грейфера	2,14

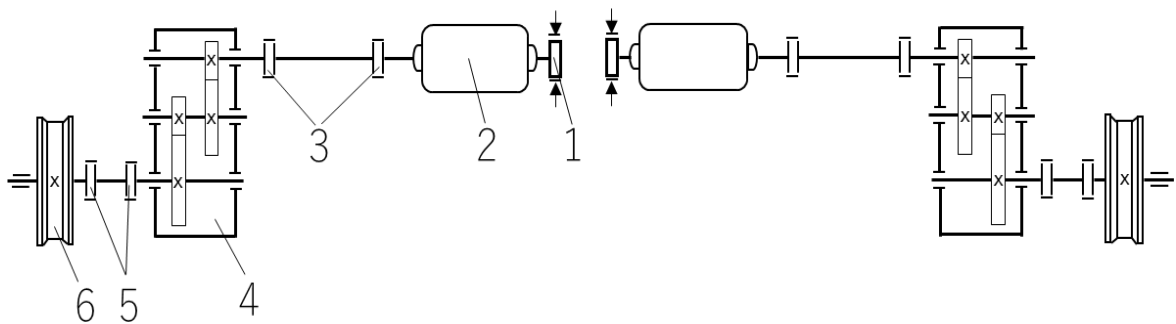
Схема механізмів підіймання та замикання грейфера (рис. 1.2). Механізм підйому і замикання грейферного крана складається з електродвигуна, з'єднаного з редуктором приводним валом, гальма, вантажного барабана, з'єднаного з зубчастим редуктором з'єднанням, вантажною підвіскою і зрівняльного блоку (додаток 2).



- 1 – Електродвигун; 2 – Гальмо;
3 – Редуктор; 4 - Барабан

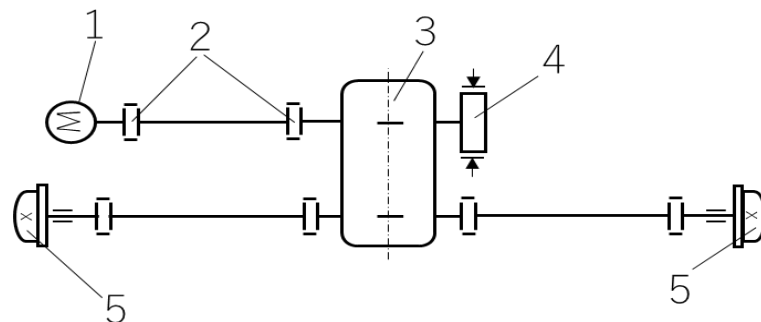
Рис. 1.2 - Кінематична схема механізмів підіймання та замикання грейфера

Схема механізму пересування грейферного крана (рис. 1.3). Механізм руху грейферного крана виконаний з роздільним приводом. Кожен привід складається з електродвигуна, редуктора та гальма. Крутний момент від редуктора на привідне колесо передається через проміжний вал. Електродвигун із редуктором з'єднаний за допомогою зубчастої муфти. Шків гальма насаджується безпосередньо на один із швидкохідних валів (редуктора або електродвигуна). Проміжний вал і зубчасті муфти компенсують деяку неспіввісність валів.



1. Гальмо; 2. Електродвигун; 3. Муфта;
4. Редуктор; 5. Муфта; 6. Колесо

Рис. 1.3 Кінематична схема механізму пересування крана



1. Електродвигун; 2. муфта; 3. вертикальний редуктор;
4. гальмо; 5. колесо

Рис. 1.4 Кінематична схема механізму вантажного візка

Схема механізму пересування вантажного візка грейферного крану (рис.1.4). Механізм пересування вантажного візка складається з електродвигуна, редуктора та гальма, з'єднаних зубчастими муфтами. Крутний момент від редуктора на приводні колеса передається за допомогою проміжних валів.

Грейфер - один із небагатьох робочих механізмів, які не мають жорсткого кінематичного зв'язку із силовим приводом (рис.1.5) . Він з'єднаний з замикаючим барабаном гнучким канатом. Під час зачерпування канат піднімається вгору, в той час як грейфер опускається вниз у сипучий матеріал. Траєкторія руху грейфера в масі сипучого матеріалу формується не внаслідок кінематики силового приводу, а в результаті взаємодії сил введення, що походять від ваги складових елементів грейфера та тягового канату з одного боку, і сил опору при зачерпуванні сипучого матеріалу - з іншого.

На рис. 1.5 представлена схема грейфера ємністю $V_{гр} = 6,5 \text{ м}^3$, вагою $Q_{гр} = 16 \text{ т}$. Грейфер відноситься до класу коротколанкових. Призначений для роботи з рудно-шихтових матеріалів. Грейфер складається з щелеп 10, підвішуються на валиках 12 до кожуху 3. Другою точкою підвісу щелепи є рухомі траверси 8. Підйомні канати охоплюють рухомі блоки, що знаходяться в рухомій траверсі, і нерухомі, що знаходяться в головці грейфера. При опусканні замикаючих канатів траверса спускається вниз і тисне через важелі на щелепу. Щелепа під впливом власної ваги і ваги рухомої траверси провертається навколо осі [1].

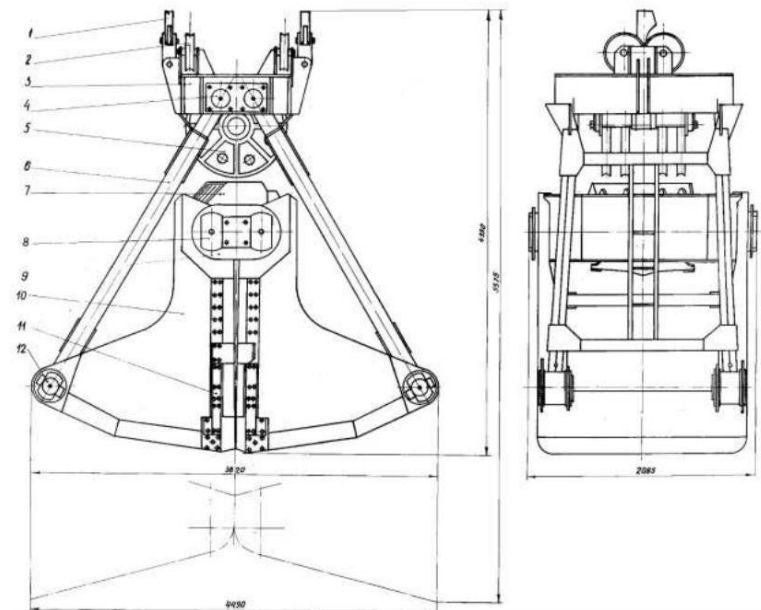


Рис. 1.5 - Грейфер

Механізм зачерповання складається з щелепи, тяги, верхня траверса, нижня траверса. Коли грейфер опущений на зачерпуючий матеріал і відбувається змикання щелеп за рахунок роботи замикаючого канату.

Робочий цикл грейферного крану двоканатного грейфера включає наступні операції (рис 1.6).

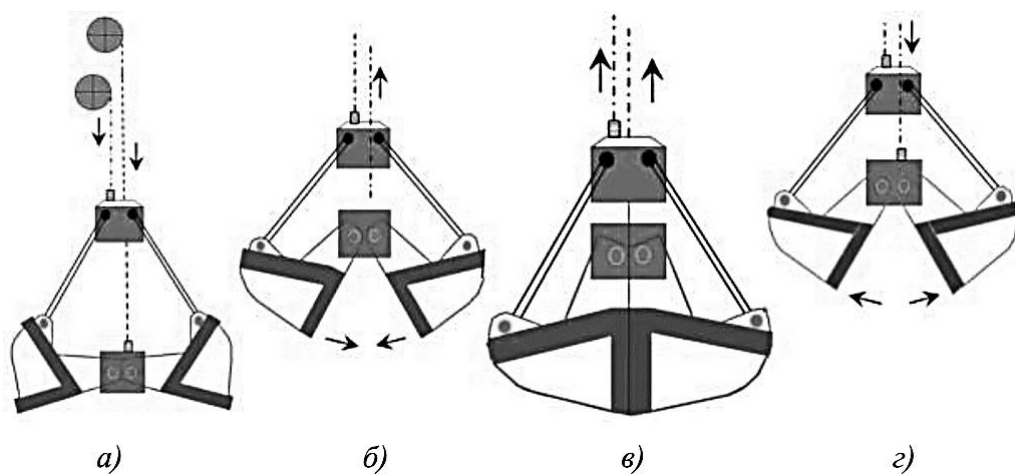


Рис. 1.6 - Робочий цикл двоканатного грейфера

1. Початкове положення (рис. 1.6 а): грейфер відкритий і підвішений на підйомному канаті, який замикає канат ослаблений, обидві лебідки загальмовані.

2. Опускання грейфера на вантаж (рис. 1.6 а): грейфер відкритий, обидві лебідки працюють на спуск.

3. Зачерпування вантажу (рис. 1.6 б): грейфер врізається в поверхню вантажу, підйомний канат ослаблений і його лебідка загальмована. Замикаюча лебідка включається на підйом і головка з траверсою зближуються, щелепи повертаються щодо шарнірів траверси, і їх кромки впроваджуються в вантаж. Якщо продовжувати працювати замикаючою лебідкою після закривання щелеп, то грейфер разом з вантажем буде підніматися на одному замикаючому канаті, який при цьому буде перевантажений. Підйом грейфера на одному замикаючому канаті заборонено, так як це призводить до швидкого зношування каната [5, 9].

4. Підйом грейфера (рис. 1.6 в) з вантажем: в момент закінчення закривання щелеп грейфера включається підйомна лебідка. Обидві лебідки 14 працюють на підйом, і зусилля в підйомному і замикаючому канатах вирівнюються.

5. Розвантаження (рис. 1.6 г) навантаженого грейфера: замикаюча лебідка працює на спуск, при цьому нижня траверса під дією сили тяжіння вантажу і щелеп відходить від головки. Щелепи розкриваються, і вантаж висипається.

В таблиці 1.6 представлені основні характеристики, їх геометричні параметри та кінематичні передаточне число.

Таблиця 1.6 Основні характеристики та параметри грейфера

Вага, т	16
Об'єм, м ³	6,5
Хід траверси, мм	2640
Розмах відкритих щелеп, мм	4490
Кратність поліспасти	5
Кінематичне передаточне число	5,88
Вантажопідйомність перевантажувача, т	30
$Q_{ван}/Q_{ван}$	0,47

1.2. Особливості використання грейферного крану

Застосування грейферних кранів на дільниці усереднення та складування залізного концентрату РЗФ-1 ГЗК, а саме:

1. Підготовка та завантаження матеріалу:

- Грейферні крани забезпечують процес підготовки залізного концентрату для подальшого використання. Вони можуть брати матеріал з одного місця і переносити його на інше для оптимального розміщення та забезпечення доступу для інших обладнань.

2. Завантаження транспортних засобів:

- Грейферні крани використовуються для завантаження залізного концентрату на різні види транспортних засобів, такі як автотранспорт, залізничні вагони.

3. Оперативне переміщення матеріалів:

- Грейферні крани дозволяють оперативного переміщати залізний концентрат на різні ділянки складу усереднення та складування відповідно до виробничих потреб.

4. Забезпечення високої продуктивності та ефективності:

- Грейферні крани відіграють ключову роль у підтримці високої продуктивності та ефективності виробничих процесів завдяки швидкості та точності їх роботи [7, 12].

Технологічне застосування грейферного крана на дільниці усереднення та складування залізного концентрату РЗФ №1 ГЗК (додаток 2). Головна мета дільниці ефективно та якісно приймати та завантажувати товарний концентрат. Технологічна схема відгруження товарного концентрату в залізничні вагони (вантажопідйомністю 70 тон) проводиться такими способами:

- завантаження «прямою» транспортується ланцюгом конвеєрів з фабрики минаючи склад.
- завантаження зі складу за допомогою грейферного крана через бункера навантаження разом з «прямою».
- завантаження зі складу за допомогою грейферним краном через бункери навантаження без «прямої».

При відсутності завантаження товарний концентрат транспортується на закриті склади для збереження.

Ці процеси є завершальним у виробництві рудо-збагачувальної фабрики, що є одним ключовим показником ефективності комбінату.

Загальна характеристики насипного матеріалу для грейферного крану на дільницях складу концентрату надана в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 Характеристика насипного матеріалу

Матеріал	Залізо-рудний концентрат
Насипна щільність ρ_m , т/м ³	2,00-3,00
Кут природного відкосу, град: спокій/рух	36..50/40...45
Кут внутрішнього тертя, град	45
Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	0,57...0,81
Початковий опір, т/м ³	0,200
Коефіцієнт внутрішнього тертя f_0	0,57...0,81

Грейферний кран обладнаний автоматичними засоби безпеки:
 - кінцеві вимикачі, що обмежують рух окремих механізмів;

- нульовий захист, що виключає самозапобіганню запуску приводних двигунів механізмів після перерви в електропостачанні, а також у тому випадку, якщо контролери управління не перебувають у нульовому положенні;

- електричним блокуванням забезпечені двері кабіни та люк мосту. Таке блокування не дозволяє роботу краном при відкритих дверях та люку.

Для запобігання пошкодженню обладнання крана при неправильних діях оператора та у меті уникнення нещасних випадків встановлюють блок-контакти у формі кнопок, які мають два роз'єднувальних контакти та два з'єднувальних. Узагалі, термін "блок-контакт" можна використовувати для опису будь-якого пристрою, який вмикає або вимикає керуючі ланцюги. На кранах для блокування дверей і люків застосовуються кінцеві вимикачі для блокування, що є повністю прийнятними. Корпуси цих кнопок щільно закриті, не пропускають пил і вологу. Максимальний допустимий струм становить 6 А, можливе до 300 включень на годину, а знос настає після 2 мільйонів включень. Під час закриття дверей кнопка блок-контакту натискається і замикається, блокуючи ділянку ланцюга управління та готуючи електричну схему крана до роботи. При натисканні кнопки "Пуск" тепер буде активований головний контактор в захисній панелі. Кнопку аварійного відключення "Стоп" розміщують на видному місці в кабіні управління. Її натисканням розмикається ланцюг керування котушки головного контактора, що призводить до відключення всіх двигунів крана, а гальма припиняють рух усіх механізмів.

Виявлені недоліки в компоновці розглянутого рейферного мостового крану КМ-20-34-24:

- збурення від руху: при підйомі або опусканні рейфера, виникають динамічні сили та збурення, які впливають на продуктивність рейферного крану в цілому;

- недостатній контролю та налаштувань механізмів підйому та замикання, що має вплив на правильне функціонування кромки щелеп грейфера;
- чутливість до перепадів напруги та коротких замикань електродвигунів механізмів підйому та замикання;
- процес роботи не відбувається при розімкнутій електричній системі живлення та при малих оборотах двигуна компоновки грейфера.

Оптимізація параметрів компоновки грейферного крану доцільно модернізувати мехатронними системами. Сучасні мехатронні системи обладнані приводами, які відповідають високим і, часто, суперечливим вимогам. Структура приводів повинна гарантувати можливість автономного та координованого (згідного) регулювання переміщень, швидкостей, сил (моментів), забезпечуючи високу точність позиціонування без перерегулювання. Також важливо досягти високого коефіцієнта форсування по моменту, максимальної швидкості, плавності переміщення робочого органу мехатронної системи при змінних навантаженнях і моментах інерції. Надійна фіксація в точках позиціонування, відсутність перехідних режимів при перемиканні структури привода, а також мінімізація маси і габаритів електромеханічних модулів є обов'язковими умовами високої надійності всіх елементів системи [6, 18].

Електричний привід, який використовується у більшості вантажопідйомних машин, характеризується роботою у режимі повторно-короткочасної дії, включенням на високій частоті, широким діапазоном регулювання швидкості та постійними значними перевантаженнями під час прискорення та гальмування механізмів. Умови експлуатації електроприводу у вантажопідйомних машинах визначили необхідність розробки спеціальних серій електричних двигунів і пристроїв для кранового обладнання. На сьогоднішній день

кранове електрообладнання включає в себе різні серії електродвигунів змінного та постійного струму, серії силових та магнітних контролерів, контролерів команд, кнопкових постів, електромагнітів гальм, а також мехатронних пристроїв, пуско-гальмівних резисторів та інших компонентів, які використовуються для різних кранових електроприводів.

Для сучасних підйомно-транспортних машин не існує обмежень, за винятком економічних. Їх розробляють для можливості застосування в будь-яких умовах. Однак складні та важкі машини є дорогими, і вони можуть бути ефективно використані лише тоді, коли можна забезпечити достатнє завантаження, щоб вони компенсувалися витрати протягом реального терміну експлуатації, до того як виникне моральний і фізичний знос.

Основними напрямками у розвитку підйомно-транспортного обладнання є вдосконалення приводів машин та механізмів з упередженням до розширення діапазону регулювання швидкостей, підвищення їх коефіцієнта корисної дії та надійності. Також проводиться розробка нових конструктивних рішень, зокрема використання вбудованих планетарних пристроїв з термічно обробленими довговічними зубчастими колесами.

На сьогоднішній день найбільш поширеним типом двигуна для промислових електроприводів є трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором. Цей тип є найбільш простим, надійним та економічно вигідним електроприводом з урахуванням широкого діапазону частот обертання і потужності.

Використання векторно-регульованого асинхронного електроприводу в механізмах підйомно-транспортного устаткування є ефективним способом підвищення технологічності виробництва. Застосування таких приводів дозволяє:

- суттєво зменшити енерговитрати крана, аж до 40%, що стає особливо актуальним у контексті зростаючих тарифів на електроенергію;
- підвищити комфортність під час руху крана і забезпечити довговічність механічного обладнання завдяки плавним переходам у процесах руху;
- захистити двигун від струмових перевантажень, перегріву, заземлення та обривів у живленні двигуна;
- зменшити витрати на капітальний ремонт обладнання, шляхом значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичного ланцюга;
- регулювати швидкості та прискорення руху механізмів крана відповідно до конкретних технологічних завдань.

Ефективність та економічність цих приводів в основному залежать від коректного вибору номінальних параметрів їх основних компонентів, а саме двигуна та перетворювача частоти [4, 10, 19].

Отже, регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна можливе шляхом зміни параметрів, таких як частота струму, кількість пар полюсів, опір роторного і статорного кола, а також напруга на статорі. Частотне управління асинхронним двигуном виявляє найкращі характеристики в регулюванні швидкості порівняно з іншими методами. Цей метод забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні (в обидва напрямки від номінальної швидкості), а отримані механічні властивості характеризуються високою жорсткістю. Частотний метод має значущу перевагу - сталість ковзання при регулюванні швидкості.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Визначення оптимальної системи електроприводу

Електроприводом називають електромеханічну систему, що складається з електродвигунного, перетворювального, механічного передавального і керуючого пристроїв і призначена для приведення в рух виконавчого органу робочої машини та керування цим рухом [1].

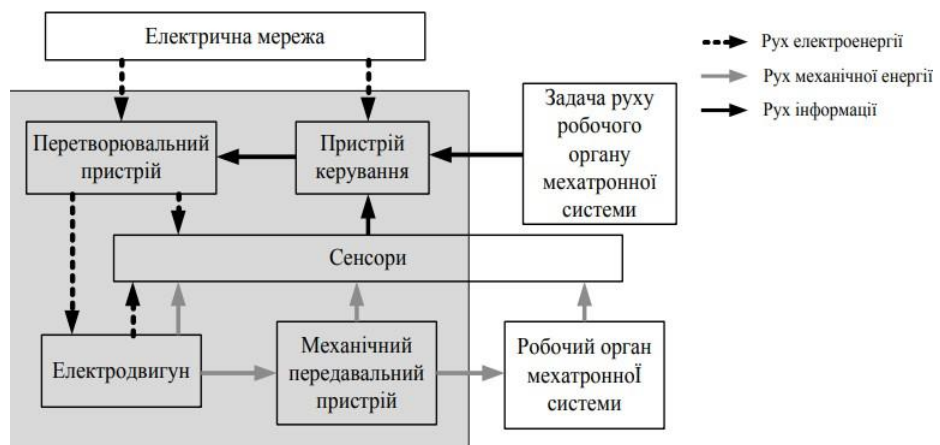


Рис. 2.1 Структура електроприводу у складі мехатронних систем

Серед переваг електроприводу (рис. 2.1) можна відзначити те, що його джерелом енергії є мережа постійного або змінного струму. Важливим аспектом є відсутність потреби у використанні трубопроводів, а також уникнення проблеми забруднення навколишнього середовища.

Електродвигуни мають наступну класифікацію (рис 2.2).

Під час модернізації сучасних електроприводів для грейферних кранів, зазвичай віддають перевагу асинхронним двигунам з короткозамкненим ротором через їхню доступність та простоту конструкції. Проте у таких двигунах виникають певні труднощі з регулюванням обертової частоти. Раніше цю проблему вирішували за

допомогою асинхронних двигунів з фазним ротором, де за допомогою резисторів, включених в коло ротора, здійснювалося поступове регулювання обертової частоти, а також обмежувався момент двигуна під час запуску для уникнення динамічних перенавантажень.



Рис. 2.2 Класифікація електродвигунів

У сучасних автоматизованих виробництвах широке використання отримують мехатронні системи, які базуються на регульованих електроприводах змінного струму. Механічна характеристики АД показані у рис. 2.3.

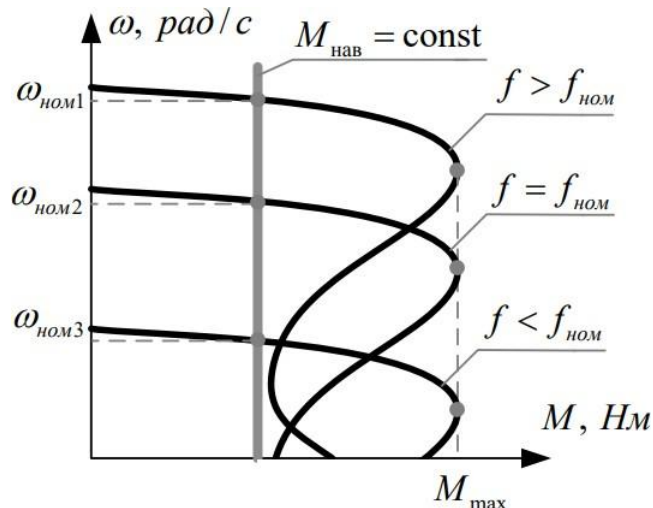


Рис. 2.3 Механічна характеристики АД для підйомних машин

Момент опору робочих машин не залежить від швидкості.
Закон зміни напруги живлення АД при зміні частоти :

$$U = fB \quad (2.1)$$

де: B - постійний коефіцієнт

Розрахунок основних величин грейферного крана.

Вага номінального вантажу:

$$G_B = m_B \cdot g = 16000 \cdot 9.81 = 156960 \text{ Н} \quad (2.2)$$

де: m_B - маса вантажу;

g - прискорення вільного падіння

Вага підвісу:

$$G_o = m_o \cdot g = 14000 \cdot 9.81 = 137340 \text{ Н} \quad (2.3)$$

Номінальна швидкість підйому та опускання грейферу:

$$V_{НОМ} = \frac{V_{НОМ}}{60} = \frac{9,9}{60} = 0,165 \text{ м/с} \quad (2.4)$$

Швидкість обертання барабану $n_{б.НОМ}$ при номінальній швидкості підйому:

$$n_{б.НОМ} = \frac{60 \cdot u \cdot V_{НОМ}}{\pi \cdot D_б} = \frac{60 \cdot 4 \cdot 0,165}{3,14 \cdot 0,880} = 14,33 \text{ об/хв} \quad (2.5)$$

Кутова швидкість двигуна $\omega_{\text{дв.ном}}$ при номінальній швидкості підйому:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{б,ном}}}{60} \cdot i = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 14,33}{60} \cdot 40 = 59,994 \text{ с}^{-1} \quad (2.6)$$

Швидкість двигуна при номінальній швидкості підйому:

$$n_{\text{дв.ном}} = \frac{60 \cdot \omega_{\text{дв.ном}}}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 59,994}{2 \cdot 3,14} = 573 \text{ об/хв} \quad (2.7)$$

Вибір електродвигуна механізму підйому та замикання рейферного крана за потужністю і швидкістю обертання. Відповідно до поставленого завдання для приводу механізму обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором відповідного типу МТНУ711-10 (табл.2.1).

Таблиця 2.1 Технічні дані двигуна тип МТНУ711-10

№	Параметри	Одиниці
1	2	3
1	Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	110
2	Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
3	Номінальна швидкість обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	575
4	Коефіцієнт потужності $\cos\phi_{\text{ном}}$	0,78
5	Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	98
6	Кратність пускового моменту двигуна $\lambda_{\text{т пуск}}$	3,154
7	Кратність максимального моменту двигуна $\lambda_{\text{т max}}$	3,251
8	Номінальний струм статора $I_{1 \text{ ном}}$, А	40
9	Кратність пускового струму $I_{\text{л}}$	4,625
10	Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,538

Номінальний момент приводного двигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9550 \cdot \frac{110}{575} = 1827 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

Номинальний момент приводного двигуна:

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 575}{60} = 60,183 \quad (2.9)$$

Пусковий момент двигуна:

$$M_{\text{пуск}} = \lambda_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{НОМ}} = 3,154 \cdot 1827 = 5762 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

Розрахунок динамічних підйому та замикання грейферного крана.

Момент інерції робочої машини виражений відносно вала двигуна при холостому навантаженні:

$$J_o = 1,1 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{ш}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\text{б}}}{i} + m_o \cdot \frac{V_{\text{НОМ}}^2}{\omega_{\text{НОМ}}^2} \quad (2.11)$$

$$J_o = 1,1 \cdot 0,0538 + 0,16 + 0,18 + \frac{8,7}{40^2} + 12000 \cdot \frac{0,16^2}{60,183^2} =$$

$$= 0,489 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції робочої машини виражений відносно вала двигуна при номінальному навантаженні:

$$J_v = 1,1 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{ш}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\text{б}}}{i} + (m_o + m_v) \cdot \frac{V_{\text{НОМ}}^2}{\omega_{\text{НОМ}}^2} \quad (2.12)$$

$$J_v = 1,1 \cdot 0,0538 + 0,16 + 0,18 + \frac{8,7}{40^2} + (12000 + 16000) \cdot \frac{0,16^2}{60,183^2} =$$

$$= 0,603 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Динамічний момент при пуску (гальмуванні) в режимі холостого ходу:

$$M_{дхх} = J_0 \cdot \omega_{ном} = 0,489 \cdot 60,183 = 29,4 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.13)$$

Динамічний момент при пуску (гальмуванні) в режимі номінального навантаження:

$$M_d = J_B \cdot \omega_{ном} = 0,603 \cdot 60,183 = 36,3 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.14)$$

Система силової частини ПЧ приводу включає в себе вхідний випрямляч, ланку постійного струму, інвертор і блок керування (рис. 2.4).

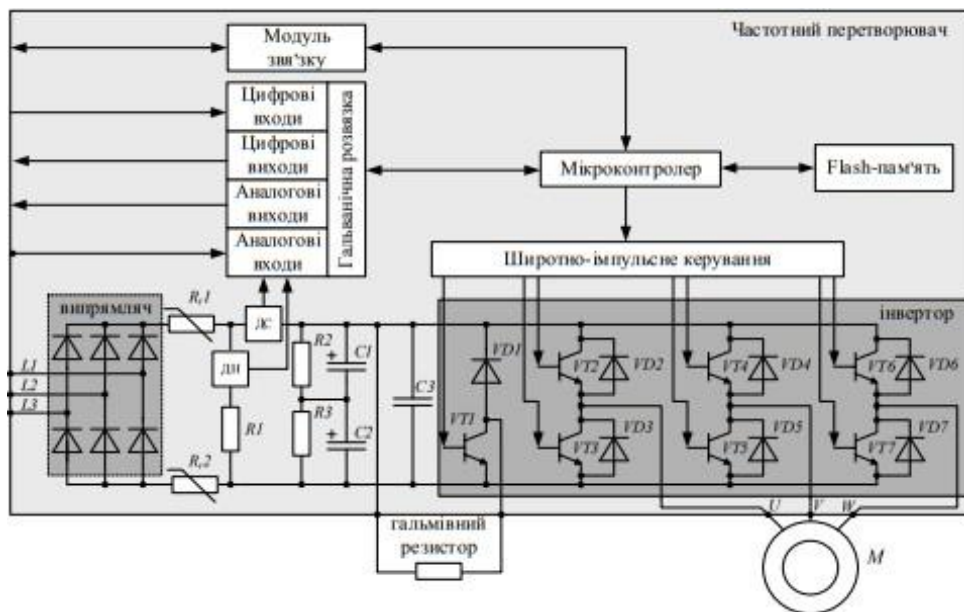


Рис. 2.4 Схема частотного перетворювача

Вхідний випрямляч реалізований за схемою Ларіонова і з'єднаний з ланкою постійного струму, що включає термістори R_{t1} і R_{t2} та великоємнісні електролітичні конденсатори $C1$ і $C2$. Термістори, які мають від'ємний температурний коефіцієнт, служать для

обмеження зарядного струму при увімкненні перетворювача. При низьких температурах термістори мають великий опір. Після увімкнення перетворювача в мережу, струм, який проходить через термістори, розігріває їх, внаслідок чого вони різко знижують свій опір.

Резистори R2 і R3, які знаходяться паралельно з кожним конденсатором, вирівнюють їх заряд. На виході ланки постійного струму підключено трьохфазний інвертор напруги, який складається з трьох півмостів на транзисторах VT2 - VT7, зворотних діодів VD2 – VD7 та гальмівного ключа на транзисторі VT1 із зворотним діодом VD1. Гальмівний резистор може бути підключений до гальмівного ключа для розсіювання енергії під час частотного гальмування двигуна за необхідності. Зворотні діоди VD2 – VD7 використовуються для передачі енергії від двигуна до джерела живлення в ланці постійного струму. Важливою особливістю інвертора, зображеного на рис. 1.24, є те, що напруга при навантаженні визначається лише послідовністю комутації транзисторів інвертора. Це досягається введенням шунтуючих діодів VD2 – VD7 для виведення індуктивного струму навантаження. Як результат, інвертор має жорстку зовнішню характеристику, тобто при зміні навантаження напруга інвертора практично не змінюється (цей тип інвертора відомий як інвертор напруги). Інвертори можуть бути включені в електричну мережу змінного струму або працювати автономно за допомогою спеціальних блоків, які мають конденсатори і котушки індуктивності.

Завдяки високій частоті комутацій ключів інвертора (приблизно 16 кГц), наявність значних перенапруг між додатковою та від'ємною шинами ланки постійного струму створює великі коливання з частотою в кілька мегагерц. Для захисту силового модулю від пробую до його затискачів використовується так званий снабберний конденсатор невеликої ємності C3. Ємність цього конденсатора значно менша за ємність електролітичних конденсаторів, що

ефективно забезпечує подолання перенапруг. Управління інвертором здійснюється від мікропроцесора за допомогою широтно-імпульсної модуляції напруги. Транзистори інвертора працюють у ключовому режимі. Якщо коефіцієнт заповнення імпульсу змінюється за синусоїдним законом, то змінюється і середнє значення напруги фази протягом періоду. На входи мікропроцесора надходять аналогові або цифрові сигнали від зовнішніх керуючих пристроїв, датчиків напруги (ДН), струму (ДС) і інших.

У даній роботі проведено порівняльний аналіз енергетичних та економічних показників систем кранових електроприводів. Зазначена система електроприводу вважається більш ефективною, якщо вона споживає менше електроенергії при виконанні одиниці механічної роботи в технологічному циклі.

2.2. Обґрунтування і вибір мехатронної системи

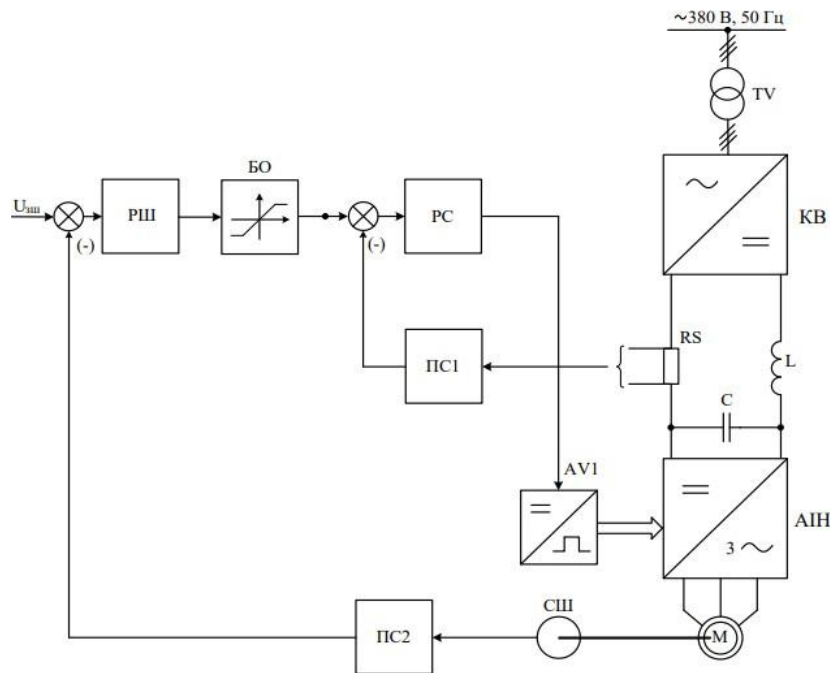
З урахуванням того, що ми аналізуємо кран, який виконує підйом і переміщення вантажів у ремонтно-механічних і складальних цехах, і має середній режим роботи з вантажопідйомністю 16 т та потужністю двигуна механізму підйому 110 кВт, можна аргументувати вибір системи електроприводу для підйому мостового крана в користь системи з перетворювачем частоти.

Важливо врахувати, що система з перетворювачем частоти для асинхронного двигуна (ПЧ-АД) є більш відповідною для впровадження дистанційного телемеханічного управління, ніж інші системи електроприводу.

Створення системи управління електричним приводом, створення функціональної схеми. Забезпечення постійної швидкості руху та обмеження струму виконується через використання

двоконтурної системи вторинного керування з зворотними зв'язками, відповідно, для контролю швидкості та струму (рис.2.5).

Керування системи реалізовано у вигляді двох контурів з використанням регуляторів швидкості (РШ) і струму (РС). Зворотній сигнал за струмом отримується від сенсора струму (RS), розташованого в колі постійного струму.



БО – блок обмеження; РС1, РС2 – перетворювачі сигналу;

AV1 – пристрій керування; RS – шунт

Рис. 2.5 Блок-схема електропривода, що керується за допомогою частоти

Регулятор швидкості відповідає за генерацію сигналу керування контуром струму. Сенсор зворотного зв'язку за швидкістю (СШ) відповідає за створення контуру швидкості.

Застосування зворотних зв'язків забезпечує досягнення визначеної статичної точності обертання та динаміки привода.

При виборі потужності частотного перетворювача необхідно враховувати не тільки потужність електродвигуна, але й номінальні струми та напруги як перетворювача, так і електродвигуна. Це пояснюється тим, що вказана потужність частотного перетворювача застосовується тільки до роботи зі стандартним асинхронним електродвигуном у стандартному виконанні. У реальності промисловість виробляє приводні двигуни, чий номінальний струм суттєво перевищує стандартні значення для відповідної потужності.

Згідно з міжнародними стандартами для електродвигунів поняття потужність відноситься до механічної потужності, що генерується двигуном на його валу, а не до активної потужності, що споживається від джерела електропостачання, як це стандартно визначено для інших електричних споживачів.

Також важливо враховувати, що пусковий струм двигуна обмежується перетворювачем за визначеним рівнем (від 120% до 170% від номінального струму частотного перетворювача) і за визначеним часом дії (зазвичай до 60 секунд). Таким чином, умови прямого пуску двигуна відрізняються від умов пуску двигуна від частотного перетворювача.

При введенні номінальної напруги з мережі на двигун за допомогою пускача, пусковий струм може досягати значення, що перевищує номінальний струм, в 7 разів, а в умовах "важкого пуску" – в 12 разів більше від номінального струму. При плавному набігу до заданої швидкості пусковий струм на виході частотного перетворювача може підвищуватися лише до величини, встановленої обмежувачем струму. Таким чином, при наявності механічного навантаження з великою інерційністю може знадобитися значно більший час для досягнення потрібної швидкості. У випадку необхідності швидкого розгону інерційного навантаження

рекомендується використовувати частотний перетворювач більшої номінальної потужності, ніж потужність двигуна.

Основні функції частотного перетворювача, а саме аналогові та цифрові входи та виходи відіграють ключову роль у функціонуванні частотного перетворювача. Використання аналогових виходів дозволяє ефективно відобразити значення певного параметра, наприклад, відображення частоти обертання двигуна на стрілочному вольтметрі. Аналогові входи, з свого боку, дозволяють передавати сигнали від датчиків безпосередньо до частотного перетворювача, без застосування додаткових пристроїв. Зазвичай використовуються стандартизовані типи сигналів, такі як 0-5 В, 0-10 В, 4-20 мА. Дискретні входи забезпечують можливість керування частотним перетворювачем за допомогою кнопок, розташованих на передній панелі шафи або на пульті управління. Зазвичай, ці входи використовуються для введення команд, таких як "ПУСК", "СТОП", "РЕВЕРС", або для ступінчастого переключення швидкостей обертання двигуна (рис. 2.6).

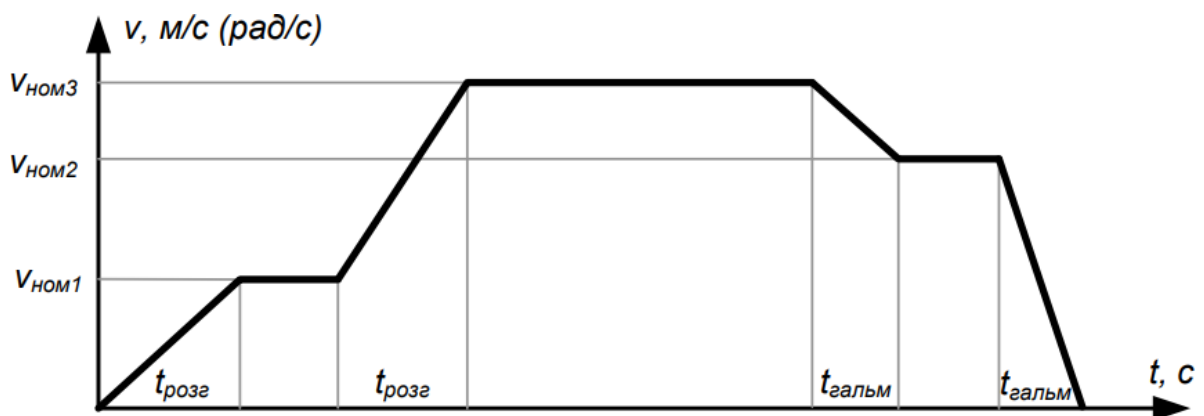


Рис. 2.6 Керування обертової швидкості двигуна за допомогою дискретних входів

Натискаючи кнопки „пуск”, „номінальна швидкість 1”, „номінальна швидкість 2”, „номінальна швидкість 3”, „стоп” оператор технологічного процесу може змінювати швидкість обертання АД та зупиняти двигун дистанційно. До дискретних виходів також можна підключати індикаторні лампочки „Аварія”, „Обертання вперед”, „Обертання назад” тощо.

Інтерфейси зв'язку грають важливу роль у функціоналі більшості сучасних частотних перетворювачів. Зазвичай, ці перетворювачі мають можливість підключення до промислової мережі. Для цього часто використовуються такі протоколи, як RS-485 (RS-232), Modbus, Profibus, Interbus, CANOpen, DeviceNet. Встановлення зв'язку між перетворювачами у мережі дозволяє створювати більш складні системи автоматичного управління технологічними процесами за допомогою контролерів і промислових комп'ютерів.

Головною функцією частотного перетворювача, є моніторинг навантаження, що забезпечує захист двигуна від механічного перевантаження або недовантаження, дозволяє використовувати частотний перетворювач як пристрій для контролю за навантаженням і захисту двигуна від різних механічних надмірних або недостатніх навантажень. Використання цієї функції дозволяє уникнути необхідності встановлення додаткових датчиків, оскільки для останніх необхідна пряма інтеграція в технологічний процес.

Сучасні частотні перетворювачі реалізують повний спектр захисту, включаючи максимальний струмовий захист, захист від перегріву як двигуна, так і перетворювача. Також передбачений захист від перевантаження, відхилень напруги живлення за нормативними параметрами, обриву фази, міжфазного короткого замикання, замикання фази на землю та помилок у зв'язку.

Виходження зі стану аварії може бути успішним тільки після усунення причин її виникнення.

Запуск та зупинка двигуна частотним перетворюючі здійснюються поступово, існують різні форми кривих зміни швидкості, зазвичай використовують лінійну, S- та U-подібну характеристики. Крім того, можливе регулювання часу розгону та гальмування в межах від 0,1 с до 9999 с з дискретністю 0,1 с, з автоматичною корекцією прискорення у випадку перевищення допустимого моменту. Ця опція дозволяє встановлювати мінімальну тривалість розгону та гальмування без необхідності перевірки умови перевищення максимального струму частотного перетворювача. Різні варіанти графіків функції зміни швидкості двигуна представлені на рис. 2.7.

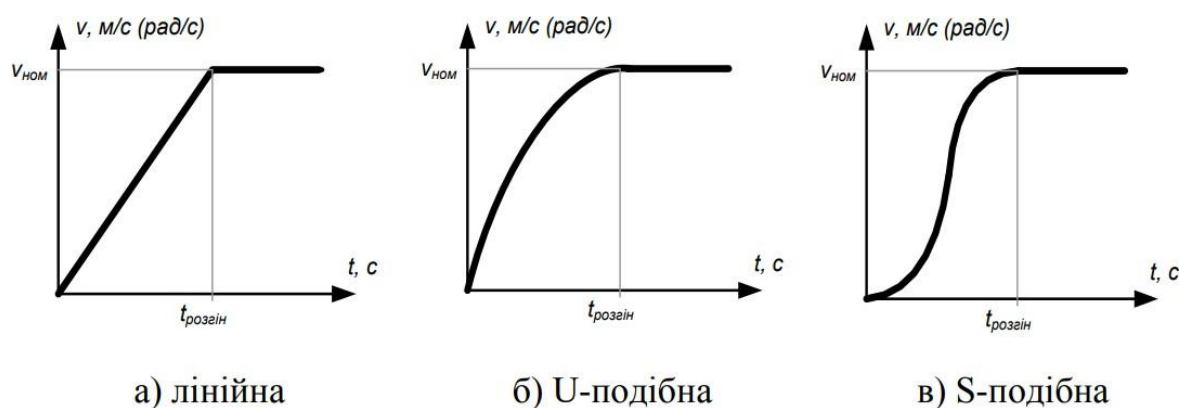


Рис. 2.7 Графіки зміни швидкості двигуна при різних характеристиках розгону

Режим "підхоплення" електродвигуна застосовується при включенні частотного перетворювача на обертовий двигун, наприклад, після короткочасного відключення напруги мережі живлення. Ця функція спрощує пуск двигуна, зменшуючи струм та напругу при моменті "підхоплення". При цьому також зменшується початковий (пусковий) момент асинхронного двигуна. Реалізація цієї

функції полягає в тому, що частота, з якою обертається асинхронний двигун, "підбирається" частотою у момент запуску частотного перетворювача.

Режим гальмування може включати в себе кілька варіантів, таких як гальмування на вибігу, частотне гальмування та гальмування постійним струмом. Простий тип гальмування на вибігу виникає внаслідок опору у приводі та робочій машині, і при цьому частотний перетворювач не втручається у керування двигуном. У випадку частотного гальмування асинхронного двигуна здійснюється поступове зниження частоти живлення (рекуперативне гальмування). Гальмування постійним струмом (динамічне гальмування) часто використовується для природного сповільнення обертання двигуна на низьких швидкостях.

Частотний перетворювач забезпечує значного пускового моменту при низьких частотах за допомогою додаткового підвищення напруги. Автоматичне визначення параметрів підключеного електродвигуна.

Розрахунок та вибір частотного перетворювача, на рис. 2.8 зображено силовий блок частотного перетворювача із широко-імпульсною модуляцією.

Перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією представляє собою інвертор з подвійним етапом конвертації напруги. На першому етапі напруга з мережі випрямляється за допомогою вхідного діодного мосту, після чого піддається вирівнюванню та фільтрації.

Другий етап оптимізації включає у себе формування послідовності імпульсів з визначеною частотою широтно-імпульсною модуляцією зі згладженої постійної напруги. На виході частотного перетворювача виникають прямокутні імпульси, які, завдяки

індуктивності обмоток статора двигуна, інтегруються та перетворюються в напругу, наближену до синусоїдальної форми.

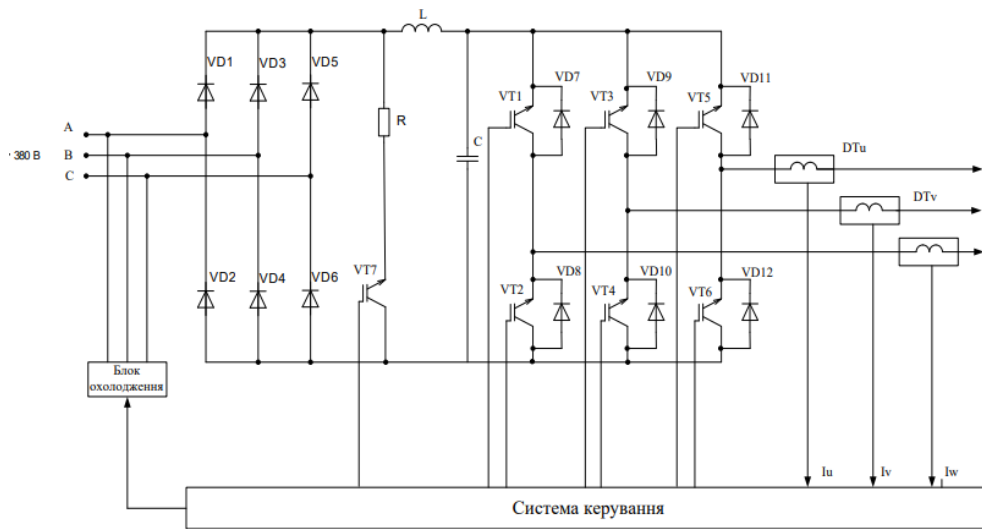


Рис. 2.8 Схеми, що відповідає за передачу потужності в системі електропривода з регулюванням частоти

Другий етап оптимізації включає у себе формування послідовності імпульсів з визначеною частотою широтно-імпульсною модуляцією зі згладженої постійної напруги. На виході частотного перетворювача виникають прямокутні імпульси, які, завдяки індуктивності обмоток статора двигуна, інтегруються та перетворюються в напругу, наближену до синусоїдальної форми.

Слід відзначити, що інвертор із широтно-імпульсною модуляцією не лише змінює частоту вихідної напруги, але й регулює її робоче значення. Це дозволяє уникнути використання керованого випрямляча і застосовувати більш простий діодний випрямляч.

Робочий принцип інвертора з широтно-імпульсною модуляцією представлено на рис. 2.9.

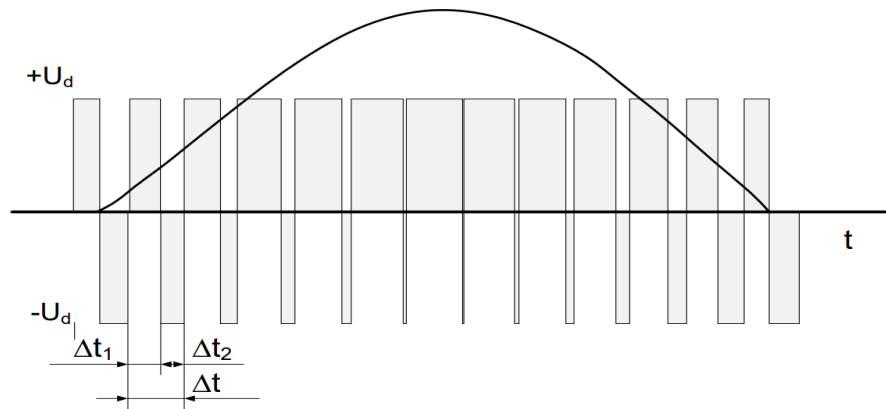


Рис. 2.9 Принцип функціонування інвертора з широтно-імпульсною модуляцією.

Синусоїдальний сигнал розділяється на не менше 24 малих інтервали тривалістю Δt . На кожному інтервалі генеруються два імпульси з різнополярністю, які тривають Δt_1 та Δt_2 відповідно.

Якщо тривалість позитивного і негативного імпульсів однакова, то середнє значення напруги на інтервалі Δt рівне 0. В протилежному випадку отримують позитивну або негативну вихідну напругу, пропорційну модулю різниці тривалостей цих імпульсів, $\pm \Delta - \Delta [t_1 - t_2]$. Якщо один з імпульсів має нульову тривалість, отримують максимальну середню напругу, рівну U_d .

Критерії вибору частотного перетворювача:

$$\begin{cases} P_{\text{пч}} \geq P_{\text{дв.сп}} \\ I_{\text{пч}} \geq I_{\text{дв.ном}} \end{cases} \quad (2.15)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ - споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.ном}}$ - номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \cos\varphi} \quad (2.16)$$

де k - коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$);

$P_{\text{НОМ}}$ - номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$\eta_{\text{дв}}$ - ККД приводного двигуна;

φ - коефіцієнт потужності приводного двигуна.

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1 \cdot 110}{0,94 \cdot 0,78} = 150 \text{ кВт}$$

Оскільки привідний двигун відрізняється складними умовами запуску, то перетворювач частоти додатково перевіряється при таких умовах:

необхідна робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{\text{пч}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{пч}}} \quad (2.17)$$

Де $P_{\text{дв.пуск}}$ - пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{пч}}$ - перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{пч}} = 1,2 \dots 1,7$).

Пускова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \cos\varphi} \cdot M_{\Sigma \text{п.нав.п}} \quad (2.18)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{575}{9550 \cdot 0,94 \cdot 0,78} \cdot 316,3 = 26$$

Відповідно до виразу (2.17):

$$P_{пч} \geq \frac{26}{1,5} = 17,3 \text{ кВт}$$

При лінійному розгоні струм, який споживає електродвигун, не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти:

$$I_{пч_пуск} \geq \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta_{дв} \cdot \cos\varphi \cdot U_{ном} \cdot \sqrt{3}} \cdot M_{\Sigma п.нав.п} \quad (2.19)$$

де $U_{ном}$ - напруга на обмотка двигуна на номінальних обертах, В.

$$I_{пч_пуск} \geq \frac{1 \cdot 575}{9,55 \cdot 0,94 \cdot 0,78 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot 316,3 = 39,5 \text{ А}$$

Виходячи з даних умов, обираємо перетворювач частоти Siemens Micromaster 440 6SE6440-2UD41-1FA1 з проміжною ланкою постійного струму. Паспортні дані перетворювача частоти наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Технічна дані частотного перетворювача

№	Найменування	Параметри
1	2	3
1	Тип перетворювача частоти	Siemens Micromaster 440 6SE6440-2UD41- 1FA1
2	Номінальна потужність $P_{пч}$, кВт	110
3	Вхідний струм $I_{пч.пуск}$, А	200
4	Вихідний струм $I_{пч}$, А	205
5	Номінальний коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,95
6	Номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$, %	98

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
7	Напруга мережі U, В	3 AC 380÷480 ± 10%
8	Частота мережі I, Гц	47÷63
9	Перевантажувальна здатність λпч	1,2

Перетворювачі частоти з серії MicroMaster 440 мають мікропроцесорною системою керування та використовують передові технології з IGBT модулями. Можливість застосування 440 як самостійного пристрою, так і інтеграція його в автоматизовані системи.

Головні характеристики перетворювачів Micromaster 440:

- простий монтаж та введення в експлуатацію;
- аналогові виходи 0...20mA;
- 6 дискретних входів;
- 2 аналогових входи, які в разі необхідності можуть бути використані як 7-й і 8-й дискретні входи: 1: 0... 10 В, 0...20 мА або від -10 до+10 В;
- модульна конструкція;
- зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель обслуговування (BOP), розширена панель оператора (AOP) і модулі передачі даних по шині Profibus;
- застосування автопідстроювання в замкнутому регуляторі PID.

Швидке введення в експлуатацію частотного перетворювача здійснюється після його попереднього скиду на заводські установки в такій послідовності:

1. Рівень доступу P0003 – в «3».
2. P0010 в «1».
3. P0100 в «0».
4. P0205 «0» робота з постійним моментом.

5. P0300 «1» вибір типу двигуна (АД).
6. P0304 Номінальна напруга двигуна, В.
7. P0305 Номінальний струм двигуна, А.
8. P0307 Номінальна потужність двигуна, кВт.
9. P0308 $\cos\phi$ номінальний.
10. P0309 ККД номінальний.
11. P0310 Номінальна частота двигуна, Гц.
12. P0311 Номінальна швидкість, об/хв.
13. P0314 Число пар полюсів (може бути пройдений автоматично).
14. P0320 Значення струму х.х. (з паспорту двигуна), при його відсутності залишити «0».
15. P0335 Охолодження.
16. P0500 Вибрати тип навантаження.
17. P0640 Перевантаження по струму (рекомендується не більше 150%).
18. P0700 Вибір джерел керування.
19. P1000 Вибір джерел завдання.
20. P1040 Початкова частота мотор-потенціометра, Гц.
21. P1080 Мінімальна частота, Гц.
22. P1082 Максимальна частота, Гц.
23. P1120 Час розгону, с.
24. P1121 Час гальмування, с.
25. P1135 Час останову, с.
26. P1300 Вибір режиму керування.
27. P1500 Вибір джерела завдання моменту (при необхідності).
28. P1910 Вибір визначення параметрів двигуна «1».
29. P3900 Завершення введення.
30. Натиснути кнопку пуск.

Вибір сенсора швидкості для реалізації контуру зворотного зв'язку за швидкістю вибираємо Incremental Encoder типу IdNr. 521-28-532.

Для налаштування зворотного зв'язку потрібно виконати рядок команд надано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Налаштування сенсора швидкості

№	Параметр	Назва	Величина
1	2	3	4
1	r0061	Швидкість ротора	Параметр вказує на швидкість обертання ротора
2	r0090	Кут повороту ротора	Параметр вказує поточний кут повороту ротора
3	P0400[3]	Тип Encoder	0 = Encoder не задіяний 1 = Окремий вхідний канал (A) 2 = Квадратичний Encoder без нульової пульсації (канал A+B).
4	r0403	Слово стану	Слово стану дисплея Encoder в форматі біта
5		Bit00	Модуль Encoder активний: 0 - ні; 1 - так.
6		Bit01	Помилка Encoder: 0 - ні; 1 - так
7		Bit02	Сигнал в нормі: 0 - ні; 1 - так
8		Bit03	Втрата малої швидкості Encoder: 0 - ні; 1 - так
9		Bit04	Використання HW таймера: 0 - ні; 1 - так
10	P0408[3]	Кількість пульсацій - Encoder на один оберт	Параметр визначає кількість пульсацій Encoder на один оберт
11	P0491[3]	Реакція на втрату сигналу швидкості	Вибирає реакцію на втрату сигналу швидкості. Налаштування: 0 - не змінювати до SLVC 1 - змінити до SLVC

При цьому необхідно правильно встановити DIP-перемикачі надано в табл. (2.4).

Таблиця 2.4 DIP-перемикачі

DIP-Switch	1	2	3	4	5	6
стан	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON

Схема підключення Encoder зображена на рис. 2.10.

Для вирішення завдання автоматичного керування САЕП механізму підйому та замикання грейферного крану виберемо програмоване реле типу LOGO!12/24RC фірми Siemens.

Мікроконтролер включає в себе аналогові та цифрові входи і виходи, релейні виходи, вбудований дисплей та комунікаційний порт для взаємодії з персональним комп'ютером через RS 232 або RS 485 (залежно від типу комунікаційного кабелю). Крім того, в залежності від складності поставлених завдань, можна легко розширювати конфігурацію мікроконтролера, що дозволяє встановлювати зв'язок з зовнішньою мережею для обміну даними з іншими пристроями.

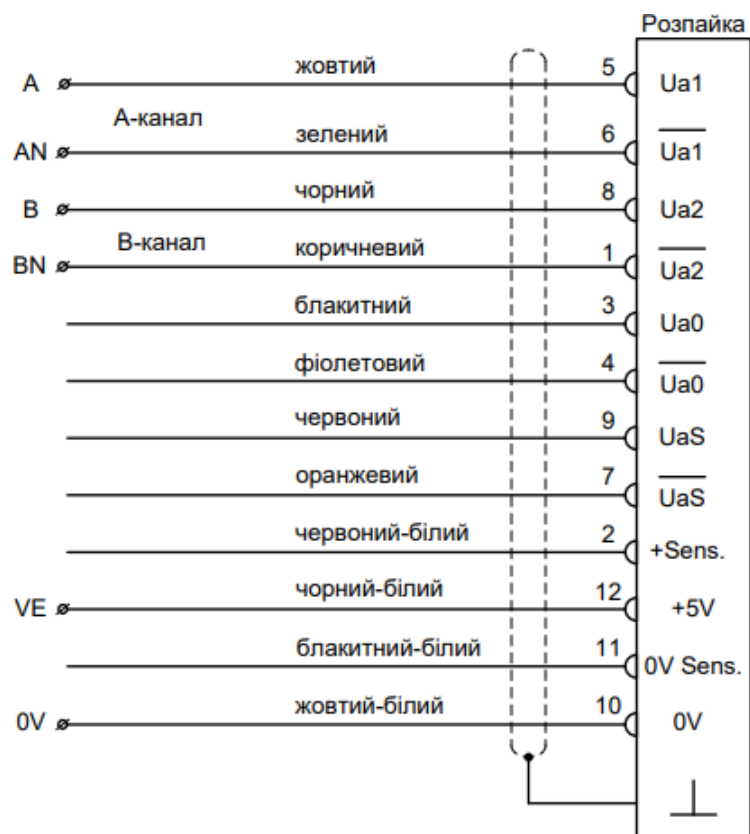


Рис. 2.10 Схема підключення Encoder

Технічні дані мікроконтролера LOGO 12/24 RC наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 Технічні характеристики мікроконтролера

№	Параметри	Значення
1	Напруга живлення	12/24 В DC
2	Споживана потужність	0,4 – 1,8 Вт
3	Цифрові входи	«0» < 5 В DC «1» > 8 В DC
4	Аналогові входи (виходи)	0 – 10 В DC
5	Час циклу на функцію	<0,1 мс

Для програмування ЦП використовується спеціальний пакет LOGO!Soft Comfort, який представляє собою середовище для розробки, редагування і контролю логіки керування. LOGO!Soft Comfort має два редактори програм (LAD, FBD), що дозволяє зручно та ефективно розробляти необхідні програми управління.

Оптоелектроніка об'єднує оптичні та електронні методи для проведення вимірювань. Датчики тиску, сили, переміщення, швидкості, акустичних параметрів, напруженості електричного і магнітного полів створені на основі оптоелектронних перетворювачів. При використанні параметричних оптичних датчиків необхідно мати світлове джерело. Найбільш поширеними джерелами світлового випромінювання, які використовуються в мехатронних системах, є світлодіоди.

Приймачі випромінювання можна класифікувати на дві категорії: інтегральні та селективні. До інтегральних відносяться приймачі випромінювання, які перетворюють енергію випромінювання в сигнал, незалежно від його довжини хвилі. До селективних відносяться фотоелектричні перетворювачі, які реагують на конкретну довжину хвилі випромінювання.

Фоторезистори представляють собою напівпровідникову пластинку з контактами, яка, будучи освітленою, зменшує свій опір.

Фотодіоди та фототранзистори входять до категорії напівпровідникових приймачів випромінювання. Фототранзистор - це фактично той же фотодіод, але з інтегрованим підсилювачем струму.

Робочий принцип та вихідний сигнал оптичного датчика зображено на рис. 2.11.

Один з найбільш розповсюджених пристроїв у мехатронних системах – це енкодер, який призначений для вимірювання кутових та лінійних переміщень, швидкостей та прискорень. Робочий принцип оптичного енкодера ґрунтується на перетинанні променя оптопари (складається зі світлодіоду та фототранзистора) з розміченим диском, що встановлений на валу (рис. 1.9). Точність вимірювання переміщення визначається частотою розмітки на диску.

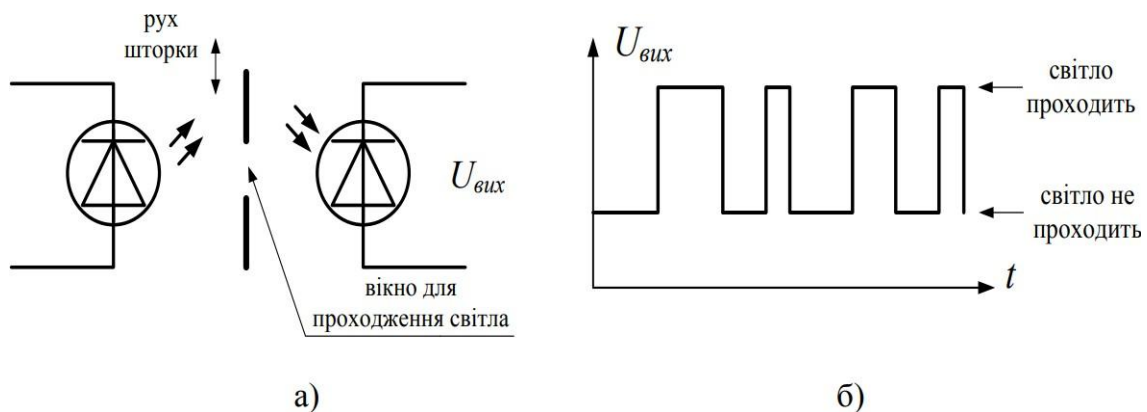


Рис. 2.11 Принцип дії оптичного датчика (а) та його вихідний сигнал (б)

Існує кілька типів енкодерів, серед яких найбільш поширеними є інкрементний (імпульсний) та абсолютний. У випадку інкрементного енкодера відбувається послідовний рахунок міток переміщення. Абсолютний енкодер, натомість, використовує індивідуальний бінарний (двійковий) код для кожного положення вала. Інкрементний енкодер призначений для генерації імпульсів, які можуть бути зчитані вторинним пристроєм, що дозволяє визначити напрямок руху або

кутовий зсув механізму. Зазвичай інкрементні енкодери мають три імпульсні виходи. Два з них (канали А і В) визначають швидкість і напрямок руху. Послідовності імпульсів на цих виходах зсунуті один відносно одного, що досягається за допомогою просторового зміщення оптичного диска та розташування оптичних пар "випромінювач-приймач". Третя послідовність імпульсів використовується для визначення позиції (канал Z). Цей канал генерує імпульс нульової оцінки за кожен повний оберт, що дозволяє виправляти помилки в межах кожного оберту. Підраховуючи імпульси за один оберт від нульової точки, можна визначати поточне абсолютне положення валу енкодера.

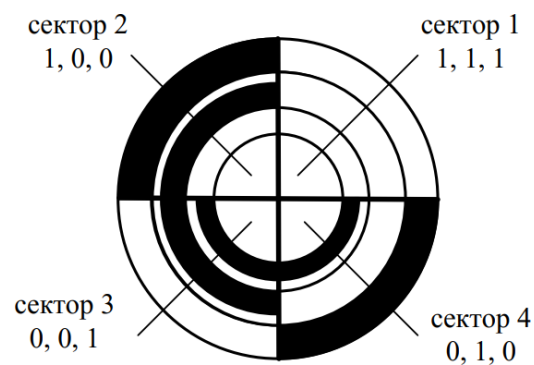


Рис. 2.12 Диск абсолютного енкодера

Абсолютний енкодер залишає значення сигналу незмінним при втраті живлення і не вимагає повернення в початкову позицію. Сигнал абсолютного енкодера не може бути пошкоджений перешкодами, і для його коректної роботи не потрібна точна установка вала. Крім того, навіть якщо енкодер не може прочитати закодований сигнал, наприклад, через занадто швидкий оберт вала, правильний кут обертання буде реєструватися, коли швидкість обертання зменшиться. Абсолютний енкодер виявляє стійкість до вібрацій.

Таким чином, датчик швидкості є ключовим компонентом в системах контролю і автоматизації, і його використання

обґрунтовується кількома важливими аспектами та є необхідним елементом для різноманітних застосувань, які вимагають точного контролю руху та ефективного використання ресурсів.

Вибираємо датчик швидкості Autonics E40S6-2500-6-L-5 (рис. 2.13) використовується для перетворення обертів вала на імпульси, щоб відстежувати положення обертового вала. Контролер може аналізувати сигнал енкодера, визначати положення та кількість обертів машини. Це забезпечує високу точність і гнучкість управління системою. Використання оптичних енкодерів на високих механічних і електронних швидкостях дозволяє досягти більшої продуктивності і точності роботи системи, а також скоротити час циклу і підвищити ефективність технологічного процесу. Різні розміри датчиків кутового переміщення Autonics можуть точно визначати положення і швидкість обертання вала, забезпечуючи максимальну точність управління обладнанням. Енкодер виступає як зворотній зв'язок для ефективного управління приводом.



Рис. 2.13 Датчика швидкості E40S-6-2500-6-L-24

Інкрементальні датчики кутового переміщення з виступаючим валом і діаметром кірпусу - 40 мм - Енкодер E40S6-2500-6-L-5 Autonics. Асортимент інкрементальних датчиків кутового переміщення в серії E40, доступний для покупців, розширився завдяки введенню нових моделей. Ці нові моделі мають

виступаючий/порожній, наскрізний/порожній, та непрямий вал з корпусом діаметром 40 мм і виходом Line Driver, робочим в діапазоні напруги 12-24 В постійного струму. Крім того, прилади цієї серії ідеально підходять для використання в умовах обмеженого простору. Ще однією важливою перевагою, яка значно полегшує експлуатацію, є низький момент інерції.

Монтаж Енкодера:

1. При монтажі потрібно бути обережним, оскільки конструкція включає високоточні компоненти.

2. Значний ексцентриситет або відхилення між валом датчика та з'єднувальним валом можуть спричинити скорочення терміну служби з'єднання (ENA, E40S).

3. Необхідно встановити виріб, забезпечивши мінімальний коефіцієнт тертя між обертанням вимірювальної частини та об'єктом. Невиконання цієї вказівки може призвести до скорочення терміну служби виробу (ENC).

4. Необхідно вкладати мінімальні зусилля при встановленні муфти на вал (ENA E40S).

Перед ввімкненням енкодера:

1. Для з'єднання за інтерфейсом RS-422A необхідно використовувати виту пару та відповідний приймач.

2. При ввімкнутому живленні заборонено проводити підключення або відключення. Невиконання цього правила може призвести до виходу обладнання з ладу.

3. При використанні комутованих джерел живлення рекомендовано встановити фільтр на лінію електропостачання, при цьому проводи повинні бути якнайкоротшими.

Умови експлуатації та зберігання енкодера:

1. Забороняється експлуатувати виріб в зазначених нижче умовах:

- сильна вібрація або динамічне навантаження;
- близькість до легкозаймистих або корозійних газів;
- сильне магнітне поле або електричні перешкоди;
- перевищення припустимої температури і вологості;
- вплив прямих сонячних променів.

Вібрації і механічні дії на еncoder:

1. Значний механічний вплив на виріб може спричинити несправності в його роботі.
2. Висока роздільна здатність датчика може бути вразливою до впливу вібрацій.

Перед встановленням виробу слід налаштувати початкове положення за допомогою металевої кульки.

Електричне з'єднання еncодера:

1. Натяг на кабель не має перевищувати 30 Н;
2. Заборонено розміщувати кабель датчика та кабель живлення в одному каналі. Невиконання цього правила може призвести до неправильної роботи або пошкодження виробу. Для цих цілей рекомендується використовувати окремі кабельні канали.

Систему вимірювання швидкості реалізовано з використанням еncодера типу E40S-6-2500-6-L-24, основними параметрами якого є:

- роздільна здатність 2500 імп/об;
- 3 стандартні вихідні імпульсної послідовності (кожна послідовність передається парафазним сигналом);
- напруга живлення +24В.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета та методи експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводились з метою перевірки вірогідності отриманих аналітичних залежностей, покладених в основу теорії .

Метою експериментальних досліджень було:

- вивчення фізичної суті процесу роботи грейферного крану з метою підвищення його продуктивність;
- перевірка достовірності основних аналітичних висновків;
- визначити працездатність, ефективність і якість роботи грейферного крану з метою підвищення його продуктивність.

Експериментальні дослідження включали лабораторно-стендові дослідження і лабораторні випробування.

Метою проведення лабораторно-стендових досліджень було:

- отримання основних характеристик ;
- вивчення фізичної суті розробки грейферного крану з метою підвищення його продуктивність;
- визначення впливу параметрів середовища на роботу грейферного крану з метою підвищення його продуктивність;
- порівняння основних теоретичних положень з отриманими експериментальними даними.

3.2. Результати досліджень із аналізом отриманих результатів

Розрахунок статичних характеристик приводного двигуна. Для побудови механічної характеристики скористаємось MathCad. Визначення природних механічних властивостей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором можна використовувати як формулу Клосса, так і формулу Чекунова.

Механічна характеристика за спрощеною формулою Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + 2 \cdot a \cdot S_k + \frac{S_k}{S}} \quad (3.1)$$

де M_k - критичний момент двигуна;

S – ковзання;

S_k - критичне ковзання.

Критичний момент двигуна:

$$M_k = M_{\text{макс}} \quad (3.2)$$

$$M_k = 6000 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Синхронна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} \quad (3.3)$$

де f_1 - частота напруги живлення, 50 Гц;

p - число пар полюсів електричної машини, 4.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,18 \cdot 50}{4} = 79,5 \text{ c}^{-1}$$

Синхронна швидкість обертання двигуна:

$$n_o \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ об/хв} \quad (3.4)$$

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{n_o - n_{\text{НОМ}}}{n_o} = \frac{750 - 575}{750} = 0,23 \quad (3.5)$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda_{m \text{ max}} + \sqrt{\lambda_{m \text{ max}}^2 - 1}) \quad (3.6)$$

$$s_k = 0,23 \cdot (3,251 + \sqrt{3,251^2 - 1}) = 1,45$$

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності:

$$P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{НОМ}} = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ (кВт)} = 5500 \text{ Вт} \quad (3.7)$$

Розрахунковий активний опір ротора приведений до статора:

$$R' = \frac{1}{p} \cdot \frac{P_{\text{НОМ}} + P_{\text{мех}}}{I_{\text{НОМ}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}}} \quad (3.8)$$

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{11000 + 5500}{29^2 \cdot \frac{1 - 0,067}{0,067}} = 0,470 \text{ Ом}$$

Номинальна фазна напруга:

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}$$

Розрахунковий активний опір статора:

$$R_c = \frac{U_{\text{НОМ}} \cdot \cos f \cdot (1 - \eta_{\text{НОМ}})}{I_{\text{НОМ}}} - C^2 \cdot R'_p - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{НОМ}}^2} \quad (3.9)$$

де С – коефіцієнт, 1,032.

$$R_c = \frac{219,393 \cdot 0,74 \cdot (1 - 0,78)}{29} - 1,032^2 \cdot 0,470 - \frac{5,5}{3 \cdot 29^2} = 0,729 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт втрати в потужності:

$$a = \frac{R_c}{R'_p} = \frac{0,729}{0,470} = 1,548 \quad (3.10)$$

Вираз (3.1) набуде вигляду:

$$M(s) = \frac{2 \cdot 6000 \cdot (1 + 1,548 \cdot 1,45)}{\frac{s}{1,45} + 2 \cdot 1,548 \cdot 1,45 + \frac{1,45}{s}} = \frac{33362,4}{\frac{s}{1,45} + 4,489 + \frac{1,45}{s}}$$

Механічна характеристика за формулою Чекунова:

$$M(s) = M_{\kappa} \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (3.11)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт:

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{m \text{ пуск}}}{\lambda_{m \text{ max}}} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2} \quad (3.12)$$

$$K_s = \frac{\frac{3,154}{3,521} \cdot \left(\frac{1}{1,45} + 1,45 \right) - 2}{1 - 1,45^2} = 0,076$$

Вираз (3.11) набуде вигляду:

$$M(s) = 6000 \cdot \frac{2 + (s^2 - 1,45^2) \cdot 0,076}{\frac{s}{1,45} + \frac{1,45}{s}}$$

Рівняння, що визначає залежність обертової швидкості двигуна від ковзання, має вигляд:

$$\omega(s) = \omega_o \cdot (1 - s) = 79,5 \cdot (1 - s) \quad (3.13)$$

Для створення механічної характеристики за допомогою рівнянь (3.1), (3.11) та (3.13) ми використовуватимемо програму Mathcad (рис. 3.1).

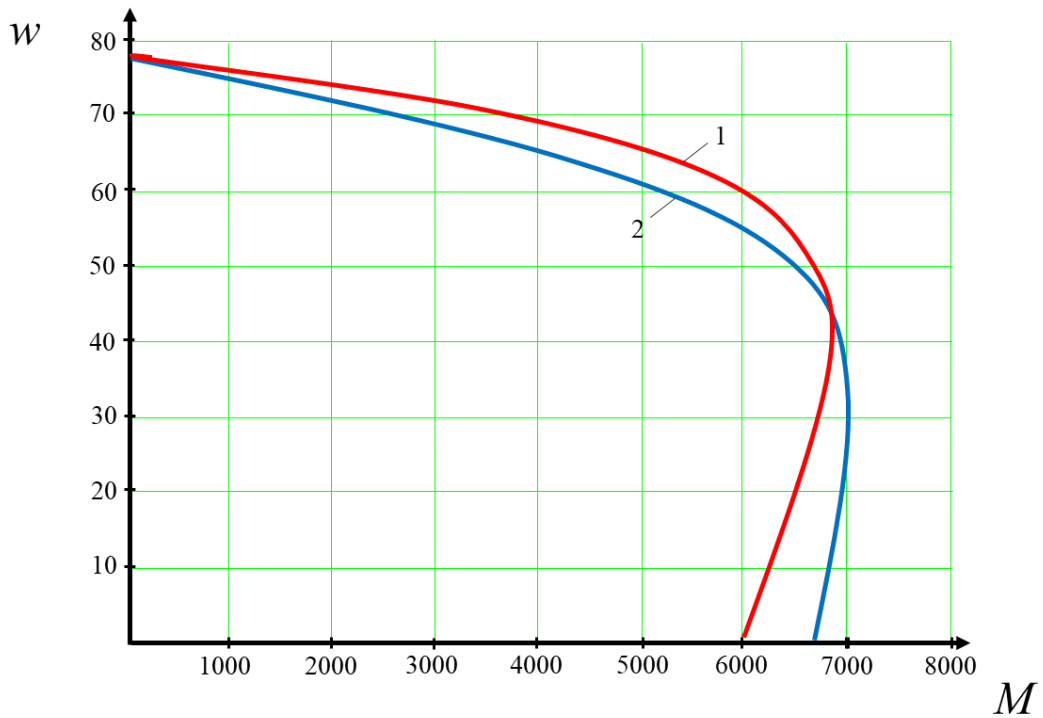


Рис. 3.1 Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані за формулами Клосса (1) та Чекунова (2)

Побудовано механічну характеристику АД з КЗ ротором типу МТНУ711-10. Із аналізу отриманого графіка можна зробити висновок, що найбільш ефективні результати продемонструвала механічна характеристика, побудована відповідно до формули Чекунова. Розраховані механічні властивості свідчать про високу жорсткість, що відповідає одній з ключових вимог до електроприводу мостового крану.

Розрахуємо тахограму руху робочого органу механізму грейферного крана. Робочий цикл механізму підйому мостового крану складається з таких складових: опускання пустого грейфера; пауза, під закриття грейфера; підйом повного грейфера; пауза, під час якої піднятий грейфер переміщується в точку з необхідними координатами; опускання грейферу; пауза, під час якої грейфер розвантажується; підйом пустого грейфера; пауза, під час якої відбувається повернення крану в точку з вихідними координатами.

Час роботи механізму при пуску (підйом, опускання):

$$t_{\Pi} = \frac{V_{\text{НОМ}}}{a} = \frac{0,13}{0,1} = 1,3 \text{ (с)} \quad (3.14)$$

Час роботи механізму при гальмуванні (підйом, опускання):

$$t_{\Gamma} = t_{\Pi} = 1,3 \text{ (с)} \quad (3.15)$$

Відстань, пройдену вантажем під час запуску (підняття, опускання):

$$H_{\Pi} = \frac{V_{\text{НОМ}}^2}{2 \cdot a} = \frac{13^2}{2 \cdot 0,1} = 0,05 \text{ (м)} \quad (3.16)$$

Відстань, пройдену вантажем під час гальмування (підняття, опускання):

$$H_{\Gamma} = H_{\Pi} = 0,05 \text{ (м)} \quad (3.17)$$

Середнє значення висоти підйому (опускання), причому (H=12 м):

$$H_c = 0,7 \cdot H = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ (м)} \quad (3.18)$$

Пройдений шлях з усталеною швидкістю в режимах навантаження або холостого ходу (підйом, опускання), м:

$$H_y = H_c - H_{\Pi} - H_{\Gamma} = 8,4 - 0,05 - 0,05 = 8,3 \text{ (м)} \quad (3.19)$$

Час роботи механізму з усталеною номінальною швидкістю в режимах навантаження або холостого ходу (підйом, опускання):

$$t_y = \frac{H_y}{V_{\text{НОМ}}} = \frac{8,3}{0,1} = 83 \text{ (с)} \quad (3.20)$$

Сумарний час роботи механізму за один цикл:

$$t_{\text{роб}} = 4 \cdot (t_{\text{п}} + t_y + t_{\text{р}}) = 4 \cdot (1,3 + 83 + 1,3) = 340 \text{ (с)} \quad (3.21)$$

Час циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{роб}} + (t_{03} + t_{0\text{пер}}) \quad (3.22)$$

де t_{03} – час закриття грейфера, 150 с;

$t_{0\text{пер}}$ – середній час паузи при переміщенні крану (візка), 100 с.

$$t_{\text{ц}} = 340 + 150 + 100 = 590 \text{ (с)}$$

Фактична тривалість включення:

$$T_{B\phi} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{340}{590} \cdot 100\% = 40,5\% \quad (3.23)$$

Розрахунок статичних навантажень. Статичний момент в режимі номінального навантаження приведений до валу двигуна (підйом):

$$M_{\text{с}_{\text{нав1}}} = \frac{(G_o + G_B) \cdot D_{\phi}}{2 \cdot i \cdot u \cdot \eta_{\text{НОМ}}} \quad (3.24)$$

$$M_{c_{\text{нав1}}} = \frac{(137340 + 156960) \cdot 0,88}{2 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 0,94} = 860,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статичний момент при номінальному навантаженні передається на вал двигуна під час опускання:

$$M_{c_{\text{нав2}}} = \frac{(G_o + G_B) \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot u} \cdot \eta'_{\text{НОМ}} \quad (3.25)$$

де $\eta'_{\text{НОМ}}$ - коефіцієнт корисної дії механічної передачі механізму підйому грейферного крану.

$$\eta'_{\text{НОМ}} = 2 - \frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} = 2 - \frac{1}{0,94} = 0,93 \quad (3.26)$$

$$M_{c_{\text{нав2}}} = \frac{(137340 + 156960) \cdot 0,88}{2 \cdot 40 \cdot 4} \cdot 0,93 = 752,67 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Статичний момент в режимі холостого ходу приведений до валу двигуна (підйом):

$$M_{c_{xx1}} = \frac{G_o \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot u \cdot \eta_{xx}} \cdot \eta'_{\text{НОМ}} \quad (3.27)$$

де η_{xx} – коефіцієнт ефективності механічної трансмісії системи підйому грейферного крану під час піднімання порожнього пристрою для захоплення вантажу.

Коефіцієнт ефективності механічної трансмісії системи підйому грейферного крану під час піднімання порожнього пристрою для захоплення вантажу визначають аналітичним шляхом:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{a_1}{\gamma} + b_1} \quad (3.28)$$

де a_1 та b_1 – коефіцієнти постійних та змінних втрат.

γ – коефіцієнт завантаження механізму:

$$\gamma = \frac{m + m_o}{m_B + m_o} \quad (3.29)$$

де m і m_B – поточна і номінальна маси вантажу, кг;

m_o – маса підвісу, кг.

При номінальному навантаженні механізму ($\gamma = 1$):

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{1}{1 + a_1 + b_1} \quad (3.30)$$

При номінальному навантаженні співвідношення коефіцієнтів втрат, відомі із статистичних даних:

$$k = \frac{a_1}{b_1} = 1,2 \dots 1,5 \approx 1,3 \quad (3.31)$$

Значення коефіцієнтів a_1 і b_1 знаходять шляхом сумісного розв'язку системи:

$$\begin{cases} \eta_{\text{НОМ}} = \frac{1}{1 + a_1 + b_1} \\ a_1 = k \cdot b_1 \end{cases} \quad (3.32)$$

Звідси:

- коефіцієнти змінних втрат:

$$b_1 = \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}} \cdot (1 + k)} = \frac{1 - 0,94}{0,94 \cdot (1 + 1,3)} = 0,028 \quad (3.33)$$

- коефіцієнт постійних втрат:

$$a_1 = k \cdot \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}} \cdot (1 + k)} = 1,3 \cdot \frac{1 - 0,94}{0,94 \cdot (1 + 1,3)} = 0,036 \quad (3.34)$$

Коефіцієнт завантаження механізму підйому без вантажу:

$$\gamma_o = \frac{m_o}{m_B + m_o} = \frac{12000}{16000 + 12000} = 0,43 \quad (3.35)$$

Коефіцієнт корисної дії механічної передачі механізму підйому
грейферного крану при підйомі пустого грейфера:

$$\eta_{\text{xx}} = \frac{1}{1 + \frac{a_1}{\gamma_o} + b} = \frac{1}{1 + \frac{0,036}{0,43} + 0,028} = 0,90 \quad (3.36)$$

Відповідно до формули (3.27):

$$M_{c_{xx1}} = \frac{137340 \cdot 0,88}{2 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 0,90} \cdot 0,93 = 390,27 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Статичний момент в режимі холостого ходу приведений до валу
двигуна (опускання):

$$M_{c_{xx2}} = \frac{G_o \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot u} - \Delta M_{xx} \quad (3.37)$$

де ΔM_{xx} – втрати в механічній передачі при підйомі або опусканні вантажозахватного пристрою.

$$\Delta M_{xx} = \frac{G_o \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot u} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{xx}} - 1 \right) \quad (3.38)$$

$$\Delta M_{xx} = \frac{137340 \cdot 0,88}{2 \cdot 40 \cdot 4} \cdot \left(\frac{1}{0,90} - 1 \right) = 41,96 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Відповідно до формули (3.37):

$$M_{c_{xx2}} = \frac{137340 \cdot 0,88}{2 \cdot 40 \cdot 4} - 41,96 = 335,72 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

З використанням наданих даних ми плануємо побудувати графік залежності статичного моменту механізму підйому мостового крану від зміни навантаження (рис. 3.2)

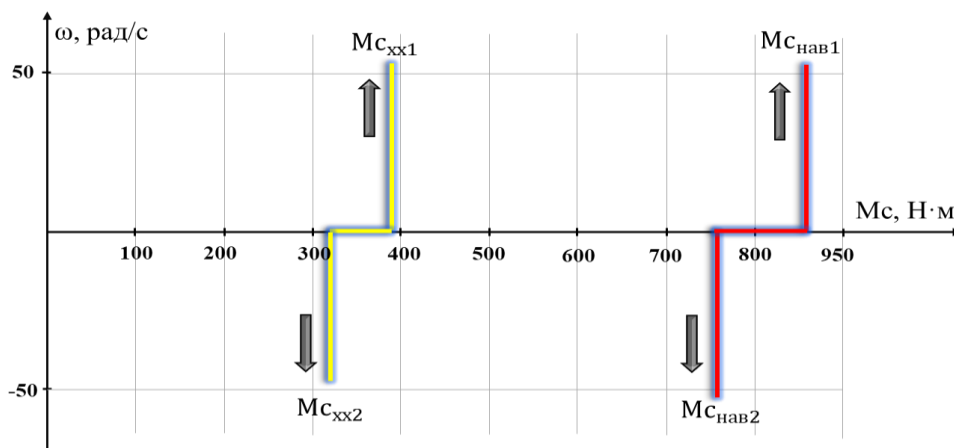


Рис. 3.2 Відображена зміна статичного моменту механізму підйому грейферного крану в залежності від зміни навантаження

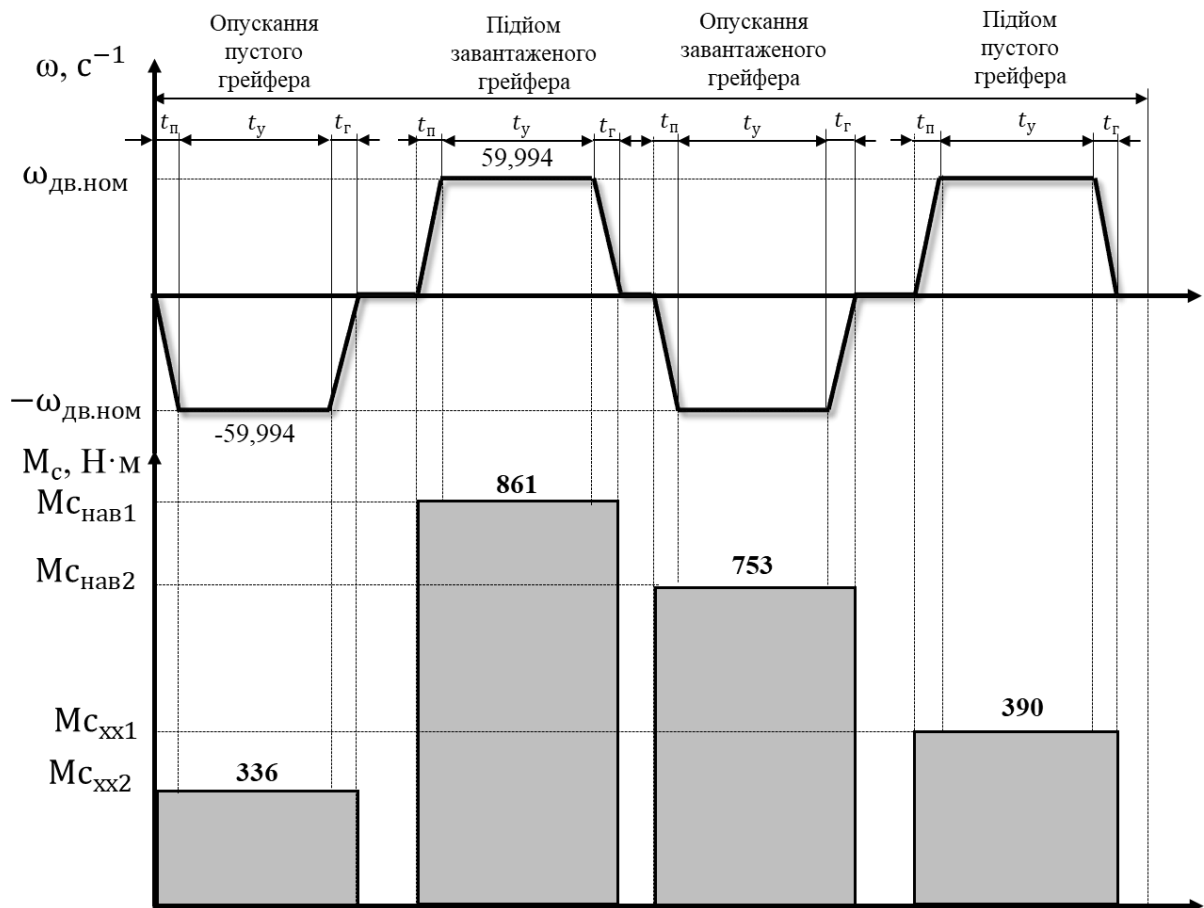


Рис. 3.3 Навантажувальна тахограма

Висновок. Була складена тахограма (рис. 3.3) та розраховані статичні навантаження в різних режимах роботи механізму підйому грейферного крану. З аналізу графіка зміни статичного моменту випливає, що електропривод механізму підйому повинен забезпечувати режими гальмівного та силового спусків.

Попередній розрахунок потужності приводного двигуна. При розрахунку потужності двигуна припускаємо, що номінальній швидкості двигуна відповідає приведена швидкість усталеного руху моста (найбільша швидкість механізму).

Зробимо привудуння побудованої навантажувальної діаграми:

$$M_{c_{\text{екв}}} = \sqrt{\frac{(M_{c_{\text{нав1}}}^2 + M_{c_{\text{нав2}}}^2 + M_{c_{\text{xx1}}}^2 + M_{c_{\text{xx2}}}^2) \times (t_{\text{п}} + t_{\text{y}} + t_{\text{r}})}{4 \times (\beta_{\text{п}} \times t_{\text{п}} + t_{\text{y}} + \beta_{\text{r}} \times t_{\text{r}})}} \quad (3.39)$$

де $\beta_{\text{п}}$ (β_{r}) - коефіцієнт погіршення тепловіддачі при пуску (гальмуванні);

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при пуску (гальмуванні):

$$\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{r}} = \frac{1 + \beta_0}{2} \quad (3.40)$$

де β_0 - коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (для двигунів з само вентиляцією $\beta_0=0,5$).

$$\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{r}} = \frac{1 + 0,5}{2} = 0,75$$

Згідно формули (3.39):

$$\begin{aligned} M_{c_{\text{екв}}} &= \sqrt{\frac{(860,98^2 + 752,67^2 + 390,27^2 + 335,73^2) \times (1 + 83 + 1)}{4 \times (0,75 \times 1 + 83 + 0,75 \times 1)}} = \\ &= 631,39 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \end{aligned}$$

Розрахункова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot M_{c_{\text{екв}}} \cdot \omega_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{в}\phi}}{T_{\text{в}\text{ст}}}} \quad (3.41)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,1 \dots 1,3$).

$$P_{\text{роз}} = (1,1 \dots 1,3) \cdot 631,39 \cdot 96,5 \cdot \sqrt{\frac{40,5}{40}} = 100 \div 104 \text{ (кВт)}$$

Висновок. Проведено попередній розрахунок потужності приводного двигуна, і відповідно до стандартного ряду потужностей вибрано двигун з потужністю 110 кВт. Цей вибір відповідає вимогам і специфікаціям системи.

3.3 Дослідження системи керування

Аналізу стійкості та динамічних властивостей систем керування. Створено графіки логарифмічної амплітудно-частотної характеристики в залежності від частоти вхідного сигналу (ЛАЧХ) та логарифмічної фазо-частотної характеристики від частоти вхідного сигналу (ЛФЧХ) для отриманої передаточної функції. Отримано графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ зображений на рис. 3.4.

З аналізу графічних залежностей ЛАЧХ та ЛФЧХ визначаємо частоту зрізу $\omega_{зр}$, яка відповідає тій частоті, при якій ЛАЧХ стає нульовою, а також критичну частоту $\omega_{кр}$, що є частотою перетину ЛФЧХ з віссю $-\pi$.

Система є стійкою оскільки виконується умова:

$$\omega_{зр} \leq \omega_{кр} \quad (3.42)$$

Значення ЛАЧХ при критичній частоті вказує на запас стійкості системи за амплітудою, тоді як відняття 180° від значення фазо-частотної характеристики при частоті зрізу вказує на запас по частоті.

Графік перехідної характеристики зображений на рис. 3.5.

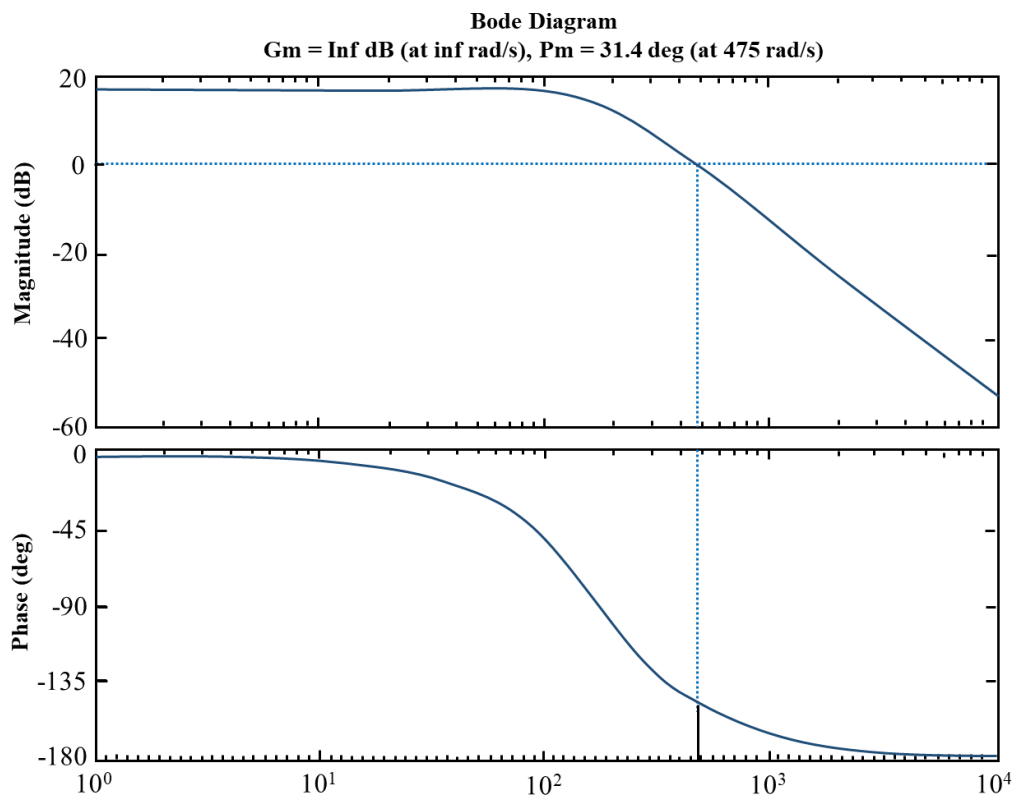


Рис. 3.4 Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ

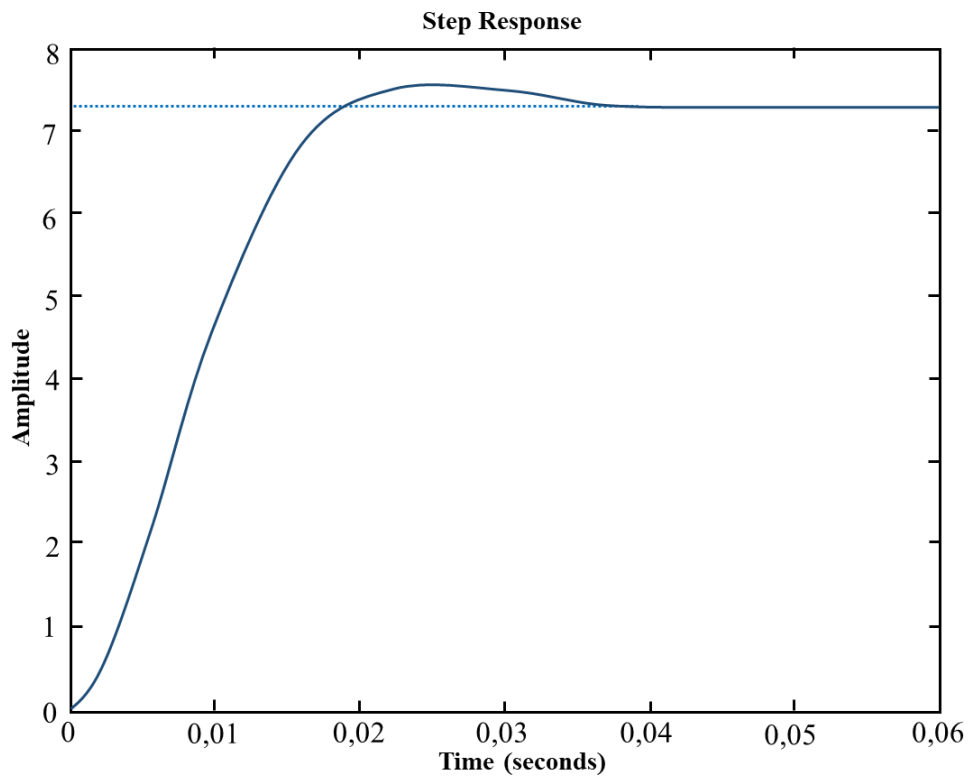


Рис. 3.5 Графік перехідної характеристики

Проаналізувавши графіки аналізу стійкості та динамічних властивостей систем керування. Дослідили реакцію системи на сигнали різних частот для визначення стійкості та загальної амплітуди, які визначають поведінку системи у відповідь на вхідні сигнали різних частот.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗМІН

4.1 Розрахунок витрат на модернізацію

Переважаючими аргументами при виборі частотно-керованого приводу є висока надійність, легкість у експлуатації, високий рівень захисту від зовнішніх факторів, доступна ціна та невеликі експлуатаційні витрати.

Підвищення ККД АД, навіть на 2-3%, є важливим аспектом, оскільки вкладені кошти у підвищення ККД швидко амортизуються через зменшення експлуатаційних витрат за рахунок зниження споживання електроенергії та підвищення надійності. У середньому вартість реалізації можливостей з енергозбереження для підвищення ККД на 1% становить приблизно 10% вартості двигуна.

Перетворювач частоти було обрано з використанням інтелектуального модуля від компанії Siemens Micromaster 440. Для приводу механізму переміщення крана обрано двигун МТНУ711-10.

Практично єдиною раціональною методою керування швидкістю асинхронних двигунів з фазним ротором є зміна частоти подачі напруги:

1. Діапазон регулювання;
2. Висока стабільність швидкості;
3. Плавне регулювання швидкості;
4. Економічний спосіб в експлуатації характеризується

відсутністю додаткових елементів, які розсіюють енергію, і зниженням витрат під час перехідних процесів. Його однозначною перевагою є гнучке керування координатами в замкнутих структурах.

Для першого методу необхідно використовувати ПЧ - пристрій, який регулює частоту та амплітуду вихідної напруги. Цей метод

частотного керування є основним для регулювання швидкості асинхронного двигуна.

Його переваги включають плавне регулювання швидкості від нуля до максимальної (номінальної), при цьому залишаються незмінними твердість механічних характеристик і перевантажувальна здатність двигуна. Діапазон управління складає 8-10 для розімкнених систем і може сягати 1000 і більше для замкнених. Недолік полягає в порівняно складності та збільшенні вартості перетворювача порівняно із керуванням за допомогою резисторів.

Приведені витрати – критерій порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовується для визначення найкращого варіанту розв'язання технічних завдань.

Приведені витрати розраховуються за формулою:

$$Z = E_n \cdot K + C \quad (4.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K – капітальні вкладення, грн;

C - загальні щорічні відрахування, які враховуються в собівартості продукції (враховуючи і амортизаційні відрахування), грн/рік.

Капітальні вкладення:

$$K = D + SK \quad (4.2)$$

де D - вартість приводного двигуна;

SK – вартість системи керування.

Вартість обладнання та автоматизація в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Вартість обладнання

№	Найменування	Кіл-ть	Одиниці	Вартість грн. з НДВ
1	2	3	4	5
1	Двигун МТНУ711-10	2	шт	360 000,00
2	Перетворювач частоти Siemens Micromaster 440	1	шт	290 000,00

Розрахунок капітальні вкладення:

$$K = 360000 + 290000 = 650000 \text{ грн}$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_{\text{н}} \cdot K \quad (4.2)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 650000 = 1105000 \text{ (грн/рік)}$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_a + C_p + C_d + C_o \quad (4.3)$$

де C_a – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_p - відрахування на ремонт, грн/рік;

C_d - додаткові відрахування, грн/рік;

C_o - відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень:

$$C_a = 0,1 \cdot K \quad (4.4)$$

$$C_a = 0,1 \cdot 650000 = 65000 \text{ (грн/рік)}$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень:

$$C_p = 0,02 \cdot K \quad (4.5)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 650000 = 13000 \text{ (грн/рік)}$$

Додаткові витрати, які враховують втрати енергії в системі електричного приводу під час стаціонарної та перехідної роботи протягом року:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2} \quad (4.6)$$

де C_{d1} - додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

C_{d2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{d1} = \Delta W_{\Sigma_{дв}} \cdot c \quad (4.7)$$

де $\Delta W_{\Sigma_{дв}}$ - кількість втраченої електроенергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c - вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) ($c = 3,0$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma ДВ} = (\Delta P_{НОМ} + \Delta P_{перех.}) \cdot k_3 \cdot \Phi \quad (4.8)$$

де $\Delta P_{НОМ}$ - втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{перех.}$ - додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 - – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot \frac{1 - \eta_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} \quad (4.9)$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{НОМ} = 110$ кВт);

$\eta_{НОМ}$ - номінальний ККД двигуна ($\eta_{НОМ} = 0,94$).

$$\Delta P_{НОМ} = 110 \cdot \frac{1 - 0,94}{0,94} = 7,02 \text{ (кВт)}$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{перех} = \Delta P_{НОМ} \cdot 0,1 \quad (4.10)$$

$$\Delta P_{перех} = 7,02 \cdot 0,1 = 0,702 \text{ (кВт)}$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{p.d.} \cdot Z_{p.z.} \cdot t_{p.z.} \quad (4.11)$$

де ε - відносна тривалість ввімкнення ($\varepsilon = 0,3$);

$Z_{p.d.}$ - кількість робочих днів за рік ($Z_{p.d.} = 340$ 1/рік);

$Z_{p.z.}$ - кількість робочих змін ($Z_{p.z.} = 1$);

$t_{p.z.}$ - тривалість робочої зміни ($t_{p.z.} = 12$ год).

$$\Phi = 0,3 \cdot 340 \cdot 2 \cdot 12 = 2448 \text{ (год/рік)}$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (4.8):

$$\Delta W_{\Sigma дв} = (7,02 + 0,702) \cdot 0,8 \cdot 2448 = 151228 \text{ (кВт} \cdot \text{год/рік)}$$

Додаткові відрахування згідно формули (4.7):

$$C_{д1} = 151228 \cdot 3,0 = 453684 \text{ (грн/рік)}$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

$$C_{д2} = \Delta W_{\Sigma ск} \cdot c \quad (4.12)$$

де $\Delta W_{\Sigma ск}$ - кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год/рік).

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma ск} = \Delta P_{ск} \cdot k_3 \cdot \Phi \quad (4.13)$$

де $\Delta P_{ск}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{\text{ск}} = P_{\text{пп}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пп}}}{\eta_{\text{пп}}} \quad (4.14)$$

де $P_{\text{пп}}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою

($P_{\text{пп}} = 110$ кВт);

$\eta_{\text{пп}}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{\text{пп}} = 0,98$).

$$\Delta P_{\text{ск}} = 110 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 2,24 \text{ (кВт)}$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (4.13):

$$\Delta W_{\Sigma\text{ск}} = 2,24 \cdot 0,8 \cdot 2448 = 4386 \text{ (кВт} \cdot \text{год/рік)}$$

Додаткові відрахування згідно формули (4.12):

$$C_{\text{д2}} = 4386 \cdot 3 = 13158 \text{ (грн/рік)}$$

Додаткові відрахування згідно формули (4.6):

$$C_{\text{д}} = 453684 + 13158 \approx 466842 \text{ (грн/рік)}$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат:

$$C_{\text{o}} = 0,05 \cdot (C_{\text{а}} + C_{\text{р}} + C_{\text{д}}) \quad (4.15)$$

$$C_{\text{o}} = 0,05 \cdot (65000 + 13000 + 466842) = 27242 \text{ (грн/рік)}$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (4.3):

$$C = 65000 + 13000 + 466842 + 27242 = 572084 \text{ (грн/рік)}$$

Приведені витрати згідно формули (4.1):

$$З = 0,17 \cdot 650000 + 572084 = 685584 \text{ (грн/рік)}$$

4.2. Плив грейферного крану на цикл збуту на підприємстві

Вихідні данні технологічного процесу ГЗК РЗФ-1 (додаток 3) навантаження товарним концентратом залізничні вагони представлена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Вихідні данні технологічного процесу навантаження

№	Найменування	Кіл-ть
1	2	3
1	Вантажопідйомність вагона, т	70
2	Кількість вагонів за добу/шт., V_B	104
3	Завантаження одного вагона без грейферного крана («пряма»), год, $t_{\text{прямої}}$	0,16
4	Завантаження одного вагона з грейферним краном, год, $t_{\text{гр.кр}}$	0,07
5	Простой одного вагона УЗТ за добу/грн	600,00

В табл. 4.3 проведено аналіз аварійних зупинок грейферного крану та визначено бюджет на ремонт

Таблиця 4.3 Аварійні зупинки грейферного крана

№	Найменування	Кіл-ть
1	1	2
1	Зупинка через механічні неполадки, $Z_{дїб/рїк}$	4
2	Зупинка через електричні неполадки, $Z_{дїб/рїк}$	18
3	Вартість запасних частин та електрообладнання, грн.	220 000, 00
4	Вартість послуг, грн.	32 000,00

Розрахунок завантаження вагонів без грейферного крана за добу:

$$K_1 = V \times t_{прямой} = 104 \times 0,16 = 16,64 \text{ (годин)} \quad (4.16)$$

Розрахунок завантаження вагонів з грейферним краном за добу:

$$K_2 = V \times t_{гр.кр} = 104 \times 0,07 = 7,28 \text{ (годин)} \quad (4.17)$$

Розрахунок коефіцієнт простою одного вагона за добу:

$$K_{простой} = K_1 - K_2 = (16,64 - 7,28) \div 24 = 0,39 \quad (4.18)$$

Розрахунок вартості простою вагонів за добу:

$$\begin{aligned} V_{простой} &= V_v \times (K_{простой} \times 600,00) = \\ &= 104 \times (0,39 \times 550,00) = 22308 \text{ (грн)} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Оцінка всіх витрат внаслідок стояння при завантаженні вагонів за рік, обумовленого аварійними зупинками грейферного крану:

$$\begin{aligned} C_{в.з.} &= V_{простой} \times Z_{загальні} + S_{загальні} = \\ &= 22308,00 \times 22 + 252000,00 = 742\,776 \text{ (грн/рік)} \end{aligned} \quad (4.20)$$

де $Z_{\text{загальні}}$ – загальні зупинки через механічні та електричні неполадки;

$S_{\text{загальні}}$ – загальна вартість ТМЦ та послуг на ремонт.

Можна зробити висновок, що протягом року ГЗК витратив 742 776,00 грн/рік на простої вагонів. Цей фактор збільшує собівартість товарного концентрату, що впливає на розвиток виробництва в цілому. Таким чином, встановлення системи РТК грейферний кран сприятиме підвищення продуктивності, оптимізації витрат на завантаження товарного концентрату та ефективно сприятиме логістики в металургічному комплексі.

4.3 Аналіз запропонованих змін

Оглядаючи отримані результати (рис. 4.1), можна прийти до висновку, що найкращим варіантом є впровадження оптимізації компоновки на модернізацію грейферного крану.

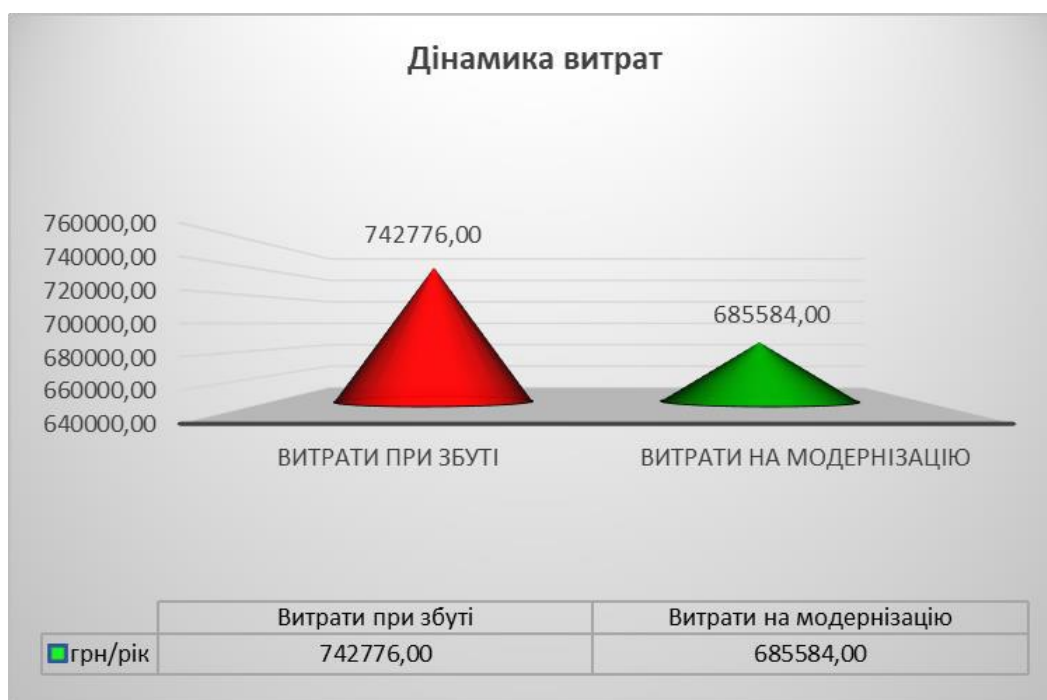


Рис. 4.1 Діаграма розрахунків

Визначення терміну окупності запропонованих змін.

Розрахуємо загальні вкладення за рік:

$$T_o = \frac{3}{C_{в.з.}} \quad (4.21)$$

$$T_o = \frac{685584,00}{742776,00} = 0,92$$

Можна зробити висновок, що капітальні вкладення модернізацію грейферного крану повністю окупляться за один рік.

ВИСНОВКИ

Для конкретного об'єкта керування було створено моделювальну програму в програмному пакеті, що дозволяє досліджувати динамічну поведінку системи в різних типових режимах роботи. З аналізу графіків перехідних процесів випливає, що розроблена система відповідає всім вимогам для електроприводу механізму руху візка мостового крана як при прямому керуванні моментом, так і при частотному керуванні.

Виявлено, що використання частотного керування гарантує "м'який" запуск двигуна без значних електричних та механічних ударів. У порівнянні з прямим пуском, який призводить до значних перевантажень по струму та моменту, використання прямого керування моментом в підйимального механізму підвищує точність регулювання швидкості та крутного моменту, скорочуючи час реакції приводу на зміну навантаження на валу приводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
2. М.М. Поліщук, М.М. Ткач. Робототехнічні системи: проєктування і моделювання. Навчальний посібник. Київ, КПІ. 113 с.
3. Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРІНТ”, 2015. – 197
4. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем : підручник / [Чорний О.П., Луговий А.В., Родькін Д.Й., Сисук Г.Ю., Садовой О.В]. – Кременчук, 2001. – 410 с.
5. Півняк Г.Г. Сучасні частотно – регульовані асинхронні електроприводи з широтно – імпульсною модуляцією : монографія / Г.Г. Півняк, О.В. Волков.- Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
6. Укрпромотор <https://ukrprommotor.com.ua/>
7. Головка Д. Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів. / Головка Д. Б., Рого К. Г., Скрипник Ю. О. / -К.: Либідь, 1997. – 326с.
8. Кобилянський О.В. Охорона праці в робочій професії./ Кобилянський О.В. Навч. посібник для студ. електротехн. спец. – Вінниця: ВДТУ, 2001 – 127 с.
9. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні / [Л.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016, 258 с.
10. Ловейкін В.С. Механотроніка / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк. К. : КНУБА, 2012, 357 с.

11. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин / [Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г., Пастушенко С.І.]. – К.- Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.

12. Ловейкін В.С. Динамічна оптимізація підйомних машин / В.С. Ловейкін, А.П. Нестеров. – Х.: ХДАДТУ, 2002. – 285 с.

13. Здросис К.П. Керування спеціальними режимами електромеханічних систем механізмів підйому з асинхронним електроприводом: автореф. дис. на здоб. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 „Електротехнічні комплекси та системи” / К.П. Здросис. – О., 2001. – 17 с.

14. Дорохов М.Ю. Динамічне гасіння коливань мостових кранів із використанням хвильових ланцюгових передач: автореф. дис. на здоб. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / М.Ю. Дорохов. – Х., 2007. – 18 с.

15. Подоляк О.С. Підвищення техніко-експлуатаційних показників стрілових самохідних кранів застосуванням гідравлічних гасителів коливань: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / О.С. Подоляк. – Х., 2010. – 27 с.

16. Логвиненко К.С. Підвищення якості перехідних процесів складних електромеханічних систем кранових механізмів: автореф. дис. на здоб. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 „Електротехнічні комплекси та системи” / К.С. Логвиненко. – О., 2003. – 24 с.

17. Сладковський А. Динаміка мостового крана. Частина 2. Моделювання процесу підйому вантажу з постійною швидкістю / О. Сладковський, Т. Ханішевський, Т. Матія // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – №10. – Частина 2. – С. 168-177.

18. Ловейкін В.С. Математичне моделювання роботи механізму підйому вантажу мостового крана / В.С. Ловейкін, Ю.О.

Ромасевич // Збірник наукових праць „Машинобудування”. – 2014. – №13. – С. 15-23.

19. Ловейкін В.С. Синтез оптимальних режимів руху механізмів вантажопідйомних машин: дис. докт. техн. наук: 05.05.05 / Ловейкін Вячеслав Сергійович. – К., 1994. – 460 с.

20. Ромасевич Ю.О. Синтез оптимального керування рухом вантажопідйомними кранами / Ю.О. Ромасевич // Всеукраїнський збірник наукових праць „Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини”. – 2014. – № 83. – С. 26-33.

21. Пат. 86763 Україна, МПК В66С 13/22. Спосіб керування електродвигуном механізму підйому вантажу мостового крана / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.А. Голдун; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2013 08105; заявл. 26.06.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. №22.

22. Пат. 86764 Україна, МПК В66С 13/22. Пристрій для керування механізмом підйому вантажу прольотного крана / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Голдун В.А.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u 2013 08106; заявл. 26.06.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. №22.

23. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомальних кранів. – Х.: Вид-во „Форт”, 2007. – 256 с.

24. Каталог. Перетворювачі частоти для асинхронних двигунів/Telemecanique. Altivar 58. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://www.google.com.ua/> url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web &cd=1&ved=0CDkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fzistons.ru%2Fchrp%2Ftechnical%2Faltivar_58.pdf&ei=px9AUpqxOevn4QSU1oCoDQ&usg=AFQjC NHZzFM2SxcCWo-JJvIglVEtlh1qwg&bvm=bv.52434380,d.bGE (29.10.14) – Назва з екрану.

25. Harashima F. Mechatronics - what is it, why and how? / F. Harashima, M. Tomizuka, T. Fukuda // IEEE/ASME Transaction on Mechatronics. – vol. 1. – № 1. – 1996. – P. 34-42.

26. Asar M. Mechatronics: the basis for new industrial development / M. Asar, J. Macra, E. Penney. – Boston: Computational Mechanics Publ. – 1994. – 844 p

27. Bishop. Robert H. The Mechatronics handbook / Robert H. Bishop. – Austin: The University of Texas at Austin. – 2002. – 1229 p.

28. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г. Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.

29. Іванов А.О. Теорія автоматичного керування / А.О. Іванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2003. – 250 с.

30. Wiberg P.-A. Wireless technology in industry – Applications and user scenarios / P.-A. Wiberg, U. Bilstrup // Proc. IEEE Int. Conf. Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'01). – P. 123–133.

31. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Обґрунтування економічної доцільності технічних рішень. Навчальний посібник. –Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2011. – 363 с.

32. Афанасьєв М.В., Плоха О.Б. Економіка підприємства: Навчальнометодичний посібник. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2007. – 320

33. Бардиш Г.О. Проектний аналіз: Підручник. – 2-ге вид., стер.- К.: Знання, 2006. – 415 с.

Технологічна схема складу концентрату РЗФ-1

