

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Мельника Олексія Сергійовича

(ПІБ)

академічної групи 141-19М-4

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (офіційна назва)

на тему Модернізація електропривода переміщення візка мостового крану 16/3,2

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Балахонцев О.В.			
розділів:				
Спеціальна частина	Балахонцев О.В.			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Казачковський М.М.			
----------------	--------------------	--	--	--

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
електропривода  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« 2 » вересня \_\_\_\_\_ 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Мельнику О.С. академічної групи 141-19м-4  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)  
на тему Модернізація електропривода переміщення візка мостового крану  
16/3.2

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 7.11.2020 № 2075-л

Розділ	Зміст	Термін Виконання
<i>Спеціальний</i>	Актуальність, мета та завдання дипломного проекту	14.09-20.09
	Обробка теоретичної частини	20.09-1.10
	Виконання дослідів	1.10-1.11
<i>Економічна частина</i>	Розрахунок економічної ефективності	1.12-10.12.

Завдання видано \_\_\_\_\_ Балахонцев О.В.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 2 вересня 2019

Дата подання до екзаменаційної комісії 17.12.20

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Мельник О.С.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 51 стор., 11 рис., 6 табл., 10 джерел, презентація PowerPoint.

Об'єкт детальної розробки: Модернізація електропривода переміщення візка мостового крану 16/3,2.

Мета роботи: надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи автоматизованого електроприводу переміщення мостового крану.

У проекті зроблений аналіз заходів щодо модернізації електропривода переміщення мостового крану.

У першому розділі розглянуто загальні відомості про вантажопідйомні машини. Наведено недоліки та переваги використання різних типів електричних двигунів для кранів. Обґрунтована номінальна потужність двигуна.

У другому розділі обрано електричний двигун, підібрано перетворювач частоти і компоненти силової частини електропривода. Представлено обґрунтування вибору гальмівного пристрою,

У третьому розділі виконано розрахунок системи автоматичного регулювання електроприводом. Проведено моделювання за допомогою математичного пакету Matlab/Simulink. На основі отриманих графіків перехідних процесів проведено дослідження динаміки електромеханічної системи.

У четвертому розділі доведена економічна ефективність впровадження технічних рішень.

**ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ УСТАНОВКИ, МОСТОВИЙ КРАН, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ.**

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 51 стр., 11 рис., 6 табл., 7 источников литературы, презентация PowerPoint.

Объект детальной разработки: Модернизация электропривода перемещения тележки мостового крана 16 / 3,2.

Цель работы: приобретение необходимых навыков по техническому решению задач при проектировании системы автоматизированного электропривода перемещения мостового крана.

В проекте произведен анализ мероприятий по модернизации электропривода перемещения мостового крана.

В первом разделе рассмотрены общие сведения о грузоподъемных машинах. Приведены недостатки и преимущества использования различных типов электрических двигателей для кранов. Обоснована номинальная мощность двигателя.

Во втором разделе выбран электрический двигатель, подобраны преобразователь частоты и компоненты силовой части электропривода. Представлено обоснование выбора тормозного устройства,

В третьем разделе выполнен расчет системы автоматического регулирования электроприводом. Проведено моделирование с помощью математического пакета Matlab / Simulink. На основе полученных графиков переходных процессов проведено исследование динамики электромеханической системы.

В четвертом разделе доказана экономическая эффективность внедрения технических решений.

**ПОДЪЕМНО ТРАНСПОРТНЫЕ УСТАНОВКИ, МОСТОВОЙ КРАН, РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ.**

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат		

## ABTRACT

Explanatory note: 51 pages., 11 figures, 6 tables, 10 literature sources, PowerPoint presentation.

Object of development: Modernization of moving cart of the bridge crane 16/3.2.

Purpose of the work: to gain the necessary technical skills in the design of an automated electric drive systems of the crane.

In the project the analysis of modernization of the electric drive of the bridge crane moving is made.

In the first section the general information on crane machines is considered. Disadvantages and advantages of using different types of electric motors for cranes are given. Rated motor power was found.

In the second section the electric motor is selected, the frequency converter and components of the electric drive power part are selected. Justification of brake device selection is given.

In the third section the calculation of the automatic control system for the electric drive is performed. The simulation was carried out using the mathematical package Matlab / Simulink. The transient graphs are received.

In the fourth section the economic efficiency of the technical solutions was proved.

LIFTING VEHICLES, CRANE, AUTOMATION, ELECTRIC DRIVE, ASYNCHRONOUS MOTOR, FREQUENCY CONVERTER, VECTOR CONTROL

					ЕП.ПД. 00.00.Р.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Загальні відомості про вантажопідйомні машини.....	8
1.2 Вимоги до електроприводу кранових механізмів .....	10
1.3 Загальні відомості про застосування різних електроприводів для кранових механізмів.....	10
1.4 Вихідні дані для проектування.....	12
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ..	17
2.1 Вибір типу електроприводу.....	17
2.2. Вибір електродвигуна.....	18
2.3 Вибір перетворювача частоти.....	19
2.4 Вибір гальмівного резистора.....	23
2.5 Вибір програмного забезпечення для налаштування ПЧ.....	24
3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	26
3.1 Вибір системи керування.....	26
3.2 Розрахунок параметрів системи автоматичного керування для даної системи.....	29
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	34
4.1 Моделювання розрахованої системи автоматичного керування.....	34
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	38
Вступ.....	38
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	39
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	42
5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	42
5.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	43
5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	44
ВИСНОВКИ.....	50
Список літератури.....	51

					ЕП.ПД. 00.00.ВС.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат		

## ВСТУП

Метою дипломного проекту є надбання навичок проектування системи автоматизованого електроприводу.

Об'єктом проектування в даній дипломній роботі являється головний привод переміщення мостового крану.

Завданнями проекту:

Розрахунок необхідної потужності електродвигуна, вибір перетворювача частоти для заданої діаграми навантажень конкретного механізму;

- розрахунок математичної моделі механічної частини приводу переміщення мостового крану і перетворювача частоти.
- синтез системи автоматичного керування електроприводу;
- створення моделі електроприводу в середовищі Matlab/Simulink;
- розрахунок техніко-економічної ефективності.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Загальні відомості про вантажопідйомні машини

Переміщення вантажів в процесі господарської діяльності здійснюється з використанням вантажопідйомних машин різного призначення.

Вантажопідйомні машини за призначенням об'єднуються в наступні групи:

1. Вантажопідйомні машини для переміщення вантажу за допомогою захоплення, що переміщається по жорстких напрямних. До них відносяться крани-штабелери, технологічні крани металургії, штирові крани кольорової металургії..

2. Різні вантажопідйомні крани для перевантаження сипучих вантажів за допомогою грейфера.

3. Універсальні машини для підйому і переміщення вантажу за допомогою гака на гнучкому підвісі. До них відносяться різні крани, кран-балки, лебідки.

4. Спеціалізовані крани для зведення споруд і будівель. До них належать будівельні баштові крани.

5. Крани з несучими канатами (кабель-крани).

За умовами використання вантажопідйомні машини об'єднуються в групи:

1. Машини універсального призначення, що використовуються для роботи в приміщеннях в одну-дві зміни в повторно-короткочасному режимі: кран-балки, мостові опорні й підвісні крани.

2. Машини універсального призначення, що використовуються для роботи на відкритому повітрі в одну-дві зміни в повторно-короткочасному

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		



режимі: козлові крани, порталні крани, поворотні стрілові крани, мостові крани на естакадах: грейферні і магнітно-грейферні крани.

3. Машини для циклічного перевантаження спеціалізованих вантажів (контейнерів, пакетів, піддонів, зв'язок лісоматеріалів) в дві-три зміни в повторно-короткочасному режимі: мостові, козлові і порталні крани.

4. Машини для виконання технологічних операцій в металургії, термічних і ковальських цехах по цілком певному комплексу перевантажувальних робіт цілодобово в повторно-короткочасному режимі: магнітні мостові крани, ливарні крани, кувальні крани, стриппер-крани, колодязні крани та інші.

5. Машини для виконання разових і епізодичних вантажопідйомних операцій в приміщеннях і на відкритому повітрі при короткочасному і повторно-короткочасному режимі роботи із загальним річним числом годин роботи до 600: козлові крани гідроелектростанцій, мостові крани машинних залів, мостові крани ремонтні, козлові і порталні крани судозборні та інші.

Більшість вантажопідйомних кранів характеризується змінюваними умовами використання при перенесенні вантажів, і тому механізми кранів, що мають в своєму складі електроприводи, повинні бути в максимальному ступені пристосовані до постійно видозмінювальної роботи з вантажами, різноманітними по масі, розмірам, формі, і в умовах виробничих приміщень або на відкритих вантажних майданчиках.

Режим роботи механізмів крану - важливий фактор при виборі системи керування, потужності приводних електродвигунів та апаратури. Від нього також залежить конструктивне виконання механізмів. У деяких випадках навіть однотипні крани працюють в різних режимах.

Номінальний режим роботи електродвигунів, які використовуються для кранів, повинен відповідати одному з наступних стандартних режимів: тривалого S1; короткочасного S2 з тривалістю роботи при незмінному

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

номінальному навантаженні протягом 10, 30 60 і 90 хв; повторнокороткочасного S3 з ПВ = 15, 25, 40 і 60% при тривалості циклу 10 хв. Номінальні режими S1, S2, S3 є основними. Для кожного механізму крана режим роботи визначається окремо, для крана в цілому режим роботи встановлюється відповідно механізму головного підйому.

## 1.2 Вимоги до електроприводу кранових механізмів

Мостові крани є найбільш масовими вантажопідіймальними машинами на промислових підприємствах. Мостові крани поділяються на крани загального призначення та спеціальні крани. Перші - призначені для підйому і переміщення вантажів у всіх галузях промисловості, а спеціальні - для обслуговування певних технологічних процесів, наприклад, металургійної промисловості.

Конструкція спеціальних кранів може суттєво відрізнитись від кранів загального призначення. Мостові крани складаються з механізмів пересування крана, пересування вантажного візка та механізмів підйому. Мостові крани можуть експлуатуватися як на відкритому повітрі так і в закритих приміщеннях.

## 1.3 Загальні відомості про застосування різних електроприводів для кранових механізмів

На сьогодні все частіше знаходять застосування кранові електродвигуни трифазного змінного струму (асинхронні) і постійного струму (послідовного або паралельного збудження). За режимам роботи, електромеханічними характеристиками, особливостями теплового режиму, конструкції, а також за умовами експлуатації кранові електродвигуни значно відрізняються від двигунів загального призначення. Це потрібно враховувати при проектуванні крана з використанням електродвигуна загального

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

призначення. Основні параметри цих двигунів повинні бути наближені до кранових.

Основні особливості кранових двигунів:

- закрите виконання;
- ізоляційні матеріали мають клас нагрівостійкості F і H;
- момент інерції ротора по можливості мінімальний, а номінальна частота обертання відносно невелика.
- відносно великий магнітний потік - для забезпечення великої перевантажувальної здатності по моменту;
- значення короткочасного перевантаження за моментом для кранових електродвигунів постійного струму в годинному режимі становить ~2,5, а для двигунів змінного струму - 2,3 - 3,5;

Електродвигуни кранів, зазвичай працюють зі значними перевантаженнями по відношенню до номінального моменту при широкому діапазоні зміни частоти обертання, частих пусках і гальмуваннях, в умовах ударів, вібрацій та інших несприятливих факторів, тому конструкції вузлів і деталей двигунів відрізняються підвищеною міцністю і надійністю. Кранові електроприводи можуть отримувати живлення від трифазних мереж змінного струму промислового підприємства або спеціальних єдиних загальногосподарських мереж постійного струму. Основною напругою для живлення кранових механізмів є напруга 380В змінного струму.

Як вже згадувалось раніше, основне застосування в кранових електроприводах знаходять асинхронні двигуни з фазним ротором. Зазвичай для механізмів підйому. Регулювання швидкості і моменту яких проводиться включенням в ланцюг ротора пускорегулювальних резисторів. Для механізмів пересування кранів хорошим рішенням є асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором. Асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим мають такі недоліки: дещо підвищений пусковий момент та значні пускові струми. Але, ці недоліки з легкістю компенсуються

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

перевагами, такими як: маса АД з КЗ ротором приблизно на 8% менша від АД з фазним ротором при тій же самій потужності, а вартість в 1-3 рази менше.

Робота асинхронних двигунів в системах частотного регулювання має свої особливості. Перш за все, при частотному керуванні значно знижуються втрати енергії в двигунах в пуско-гальмівних режимах. Це дозволяє переходити на більш високооборотні електроприводи, і при проектуванні двигунів основну увагу приділяти зниженню втрат в обмотках двигуна в номінальному режимі. При проектуванні двигунів для системи частотного регулювання враховується що:

1. У сучасних частотно-регульованих електроприводах з векторним керуванням механічні характеристики формується системою керування перетворювача. Тому при проектуванні електродвигунів, призначених для роботи тільки з перетворювачами частоти, можна не вживати спеціальні заходи для підвищення перевантажувальної здатності і пускового моменту.

2. Оптимальні частоти обертання двигунів в системах приватного регулювання, як уже було сказано, вище, ніж у звичайних системах, і складають 1900 - 1800 об / хв для легкого і середнього режимів роботи і до 1500 - 800 об / хв - для важкого режиму. Однак при проектуванні слід узгоджувати максимальну частоту обертання розроблювального електроприводу і максимальну допустиму частоту обертання редуктора.

3. Регулювання вихідної напруги і частоти двигуна дозволяє оптимізувати використання його активних частин і забезпечити роботу двигуна в режимі мінімальних втрат.

#### 1.4 Вихідні дані для проектування

Незважаючи на те, що крани являються великою та доволі складною темою, кінематична схема візка мостового крану доволі проста. На (Рис.1)

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

наведено кінематичну схему візка мостового крану. Вона складається із двигуна (1), редуктора (7), муфт (2, 3, 4, 5), гальма (6) та колес (8). Електричний двигун передає крутний момент на приводні колеса через муфти. Для зниження кількості оборотів призначені зубчасті колеса з косими зубами. Гальмо (6) блокує передачу крутного моменту і зупиняє візок.

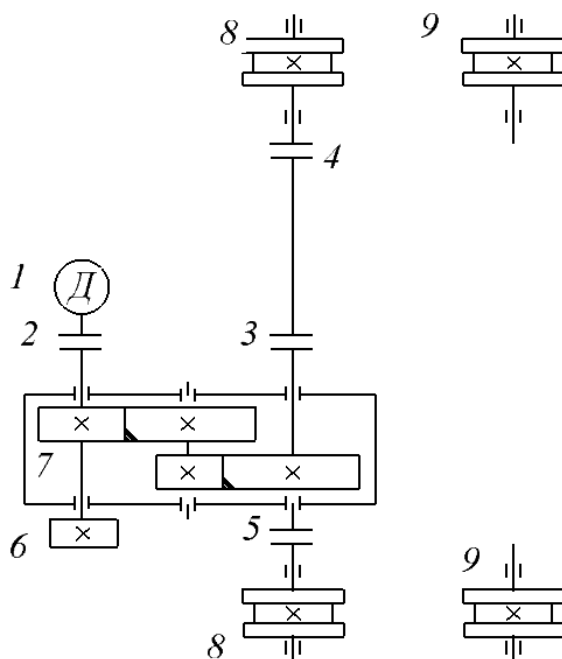


Рис. 1. - Кінематична схема механізму переміщення крана

Для розрахунку електричного двигуна, зазвичай застосовується навантажувальна діаграма робочого механізму. Типовий цикл роботи механізму горизонтального переміщення крана складається із руху із вантажем, паузи, та руху у зворотному напрямку без вантажу (Рис. 2).

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

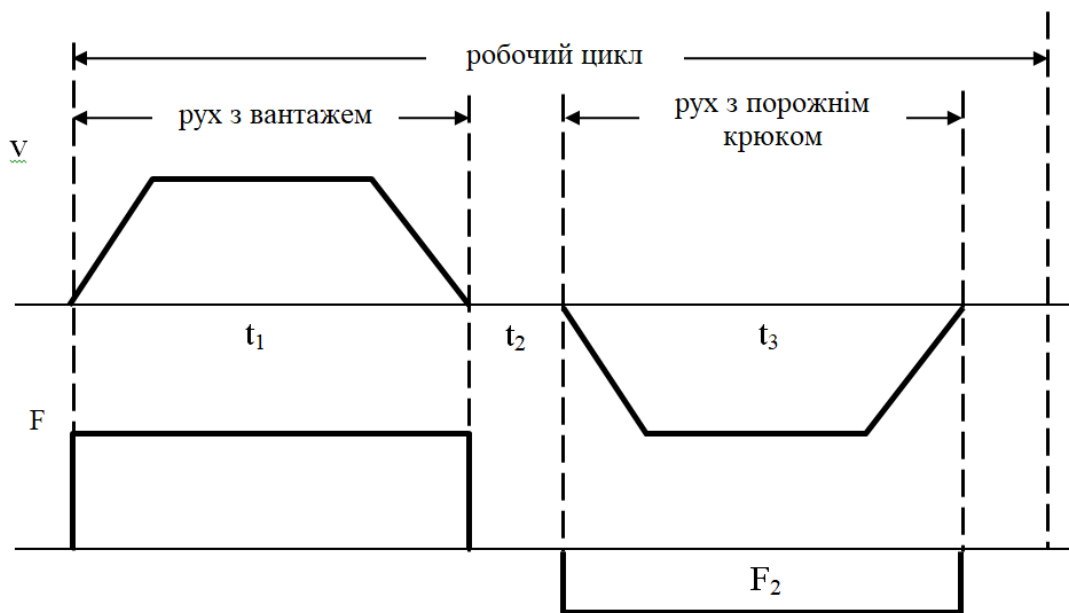


Рис. 2. - Діаграми моменту та швидкості приводу горизонтального переміщення крана

Потужність електричного двигуна можна розрахувати за такою формулою:

$$P = \frac{F \times V}{\eta} \quad (1.1)$$

де:  $F$  – зусилля тертя;

$v$  – лінійна швидкість переміщення механізму;

$\eta$  – ККД механічної передачі, для попереднього розрахунку прийняти

$$\eta=0,9.$$

$K_3$  – коефіцієнт запасу для врахування динамічного навантаження. Для надійності системі приймемо  $K_3=2$ .

Дані для розрахунку механізму переміщення обраного мостового крану наведені в Таблиці 1.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1. - Вихідні дані для виконання дипломного проекту.

Параметр	Позначення	Од. вим.	
Швидкість руху	v	м/сек	0,8
Діаметр колеса	Dк	м	0,6
Час руху	t1	сек	6
Час паузи	t2	сек	12
Час циклу	Tц	сек	42
Зусилля	F1	кН	34
	F2	кН	14
Момент інерції редуктора	J	кг*м <sup>2</sup>	4,8
Вага частин, що рухаються поступово	mΣ	т	2
Допустиме прискорення	a_доп	v/сек <sup>2</sup>	1,2

За допомогою формул (1.1 - 1.5) розрахуємо необхідну потужність двигуна:

$$P_1 = \frac{F_1 \times V}{\eta} = 27,555 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (1.1)$$

$$P_1 = \frac{F_2 \times V}{\eta} = 12,444 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (1.2)$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$t_r = \frac{2t_1}{t_{\text{ц}}} = 0,28 \quad (1.3)$$

$$t_p = 25\% \quad (1.4)$$

$$P_{eq} = K_3 \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_{\text{ц}}}} = 24,715 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (1.5)$$

$$P_M = P_{eq} \sqrt{\frac{t_r}{t_p}} = 26,115 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (1.6)$$

Тобто, для забезпечення коректної роботи механізму потрібен двигун потужністю не менше  $P_M = 26,115 \times 10^3 \text{ Вт}$ .

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		



## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Вибір типу електроприводу

Для здійснення автоматичного регулювання двигунами передбачаються керовані перетворювачі і регулятори, що дозволяють здійснювати регулювання параметрів електропривода під впливом зворотних зв'язків. Такими параметрами являються: момент, швидкість, потокозчеплення та інше.

На сьогодні найбільш широко використовуються електромашинні і вентильні керовані перетворювачі напруги постійного струму, а також частоти змінного струму і відповідні системи електроприводу: система генератор - двигун (Г-Д); система тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д); система перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД).

Всі вище перелічені системи мають свої переваги та недоліки. За допомогою аналізу технічних вимог і специфіки виробничого механізму здійснюється правильний вибір системи регулювання.

Головними перевагами системи Г-Д є відносно невелике споживання реактивної потужності, а також, відсутність викривлення споживаного з мережі струму. На жаль, система Г-Д має декілька серйозних недоліків які обумовлених необхідністю триразового електромеханічного перетворення енергії. В наслідок цього - низькі масо габаритні та енергетичні показники. Так як у системі застосовується генератор і двигун це впливає на загальний ККД системи.

Система ДПТ-ТП набула своєї популярності завдяки своїй відносній простоті та дешевизни. Але, система спотворює спожитий з мережі струм.

Науковий прогрес не стоїть на місці. Саме завдяки цьому, в останні 20 - 30 років силова напівпровідникова і мікропроцесорна електроніка зробила великий крок у своєму розвитку. Стало можливим створення перетворювача частоти. Перетворювач частоти дозволяє відносно легко керувати швидкістю

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

і моментом електродвигуна по заданих параметрах в точній відповідності з характером навантаження. Це дало можливість вести точне регулювання будь-якого параметра двигуна змінного струму.

Частотне регулювання ефективно застосовується на підприємствах енергетики, промисловості і комунального господарства.

Застосування пристроїв перетворювання частоти для керування двигунів дає ряд додаткових переваг, а саме:

- пуск двигуна здійснюється при струмах, обмежених на рівні номінального значення, що підвищує термін експлуатації двигуна, знижує вимоги до потужності живлячої мережі та потужності комутуючої апаратури;
- плавний пуск та зупинку двигуна;
- відносна легкість впровадження без заміни основного устаткування.

Найбільш доцільним типом електроприводу для механізмів переміщення кранів є перетворювач частоти - асинхронний двигун.

## 2.2. Вибір електродвигуна.

За допомогою каталогу для кранових двигунів було обрано асинхронний двигун відповідної потужності МТКН-412-6. Двигун має наступні параметри:

Таблиця 2.1 – Параметри обраного електричного двигуна.

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Потужність	P	кВт	30
Напруга живлення статора	U <sub>n</sub>	В	380

## Продовження Таблиці 2.1

Номинальний струм статора	$I_n$	A	79
Номинальна швидкість	$n_n$	об/хв	945
Коефіцієнт корисної дії	$\eta$	%	87,5
Перевантажувальна здатність	$\lambda$		2,5
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi$	%	0,81
Активний опір статора	$R_1$	Ом	0,103
Індуктивний опір статора	$X_1$	Ом	0,172
Активний опір ротора	$R_2$	Ом	0,237
Індуктивний опір ротора	$X_2$	Ом	0,366
Момент інерції ротора	$J$	$\text{кг} \times \text{м}^2$	5,3

### 2.3. Вибір перетворювача частоти.

Простіший перетворювач частоти складається з таких частин як: випрямляч, ланка постійного струму та інвертор. На Рис 3. Зображена електрична схема з'єднання перетворювача частоти з двигуном змінного струму. Зазвичай, перед двигуном перетворювачем частоти встановлюються захисні запобіжники та вхідні дроселі. Запобіжники захищають електричні прибори від токів короткого замикання. Вхідні або мережеві дроселі допомагають:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- зменшити гармоніки у живлячій мережі;
- захищає перетворювач частоти від мережеских скачків напруги;
- перешкоджає нарощуванню напруги в електромережі. Так, при виході з ладу перетворювача частоти пошкодження виявляються незначними, адже у вхідного автомата буде достатньо часу на те, щоб вимкнути живлення в звичайному режимі.

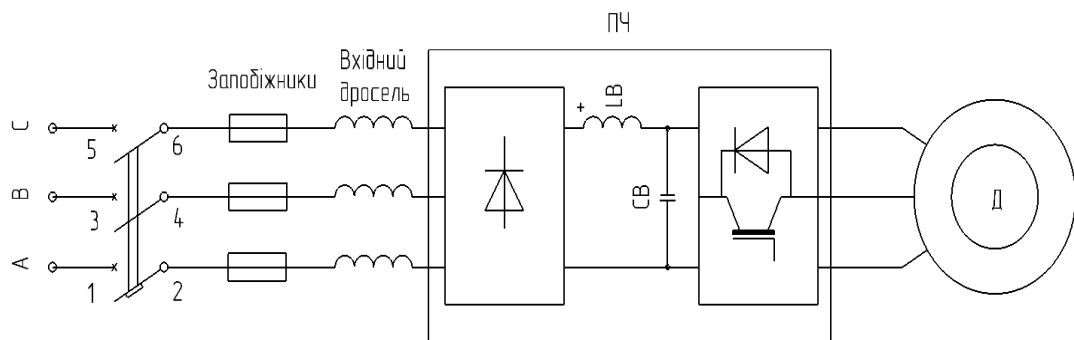


Рис. 3 - Електрична схема з'єднання перетворювача частоти з двигуном змінного струму.

Перетворювачі частоти мають на своєму борту мікроконтролери, котрі дозволяють з відносною простотою сконфігурувати перетворювач частоти, та запрограмувати його на вимагаємий технологічний процес.

Компанія Schneider Electric має серії перетворювачів частоти, котрі можуть використовуватися у будь-якій сфері людської діяльності.

Серія перетворювачів частоти Altivar 71 відповідає найсуворішим вимогам застосувань завдяки використанню різноманітних законів управління двигуном і численним функціональними можливостями. Вона адаптована для вирішення найбільш важких завдань електроприводу, таких як:

- момент і підвищена точність при роботі на дуже низькій швидкості і поліпшені динамічні характеристики з алгоритмами векторного управління потоком в розімкнутій або замкнутій системі приводу;
- розширений діапазон вихідної частоти для високошвидкісних двигунів;

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- паралельне включення двигунів і спеціальні приводи з використанням скалярного закону управління;
- точність підтримки швидкості і енергозбереження для розімкненого приводу з синхронним двигуном;
- плавне, безударне управління незбалансованими механізмами за допомогою системи адаптації потужності;

Перетворювачі частоти Altivar 71 спеціально розроблені та активно використовуються у промисловому підйомно-транспортне обладнання, при розвантажувально-навантажувальних операціях, фасувальних та пакувальних машинах, текстильних машини, деревообробних машинах та інших сферах господарської і промислової діяльності. Вони розраховані на трифазні двигуни потужністю від 0,37 до 2000 кВт. Що з легкістю вписується у наші потреби.

Серія перетворювачів частоти Altivar 71 має ряд особливостей та переваг, такі як:

- мінімальний час реакції при відпрацювання команд ( $2 \pm 0,5$ ) мс.;
- керування по вбудованій шині CANopen
- завдання по імпульсному або диференційному аналоговому входах;
- ПІД регулятор;
- вихідна частота до 1600Гц;
- тормозний модуль з рекуперацією енергії до мережі;
- регулювання швидкості та моменту.

Таблиця 2.2 – параметри обраного ПЧ Altivar 71.

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Тип		ATV 71HU40N4Z
Номінальна потужність	кВт	37

Вихідна напруга	В	380-480
Номінальний вихідний струм	А	84
Діапазон зміни частоти	Гц	0,5..300

На Рис 3. зображена електрична схема підключення ПЧ до асинхронного двигуна.

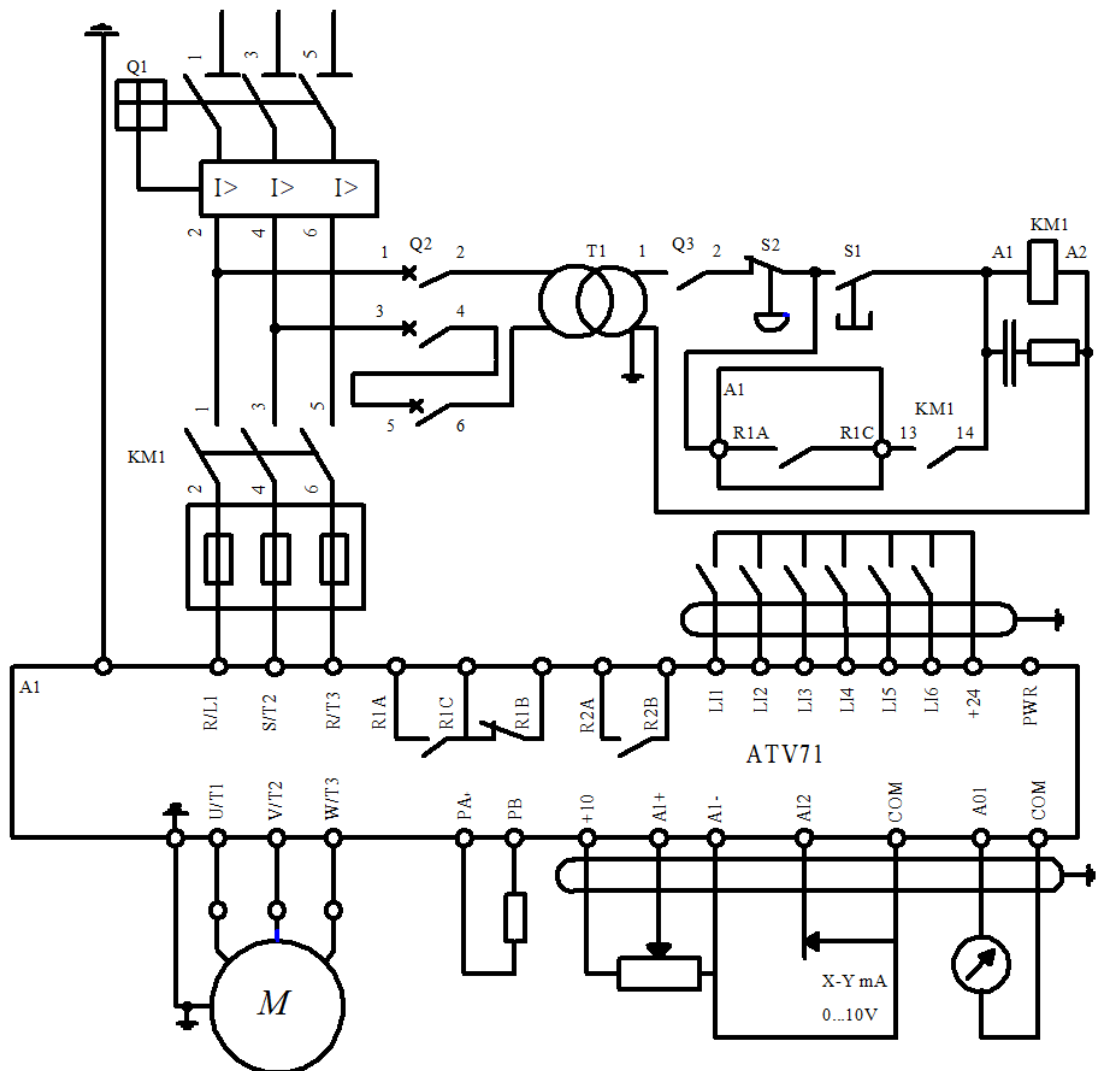


Рис. 3. Електрична схема підключення ПЧ Altivar 71 до асинхронного двигуна.

Обраний перетворювач частоти реалізує векторний закон керування двигуном. Векторне керування полягає у незалежному керуванні двома складовими струму статора, які орієнтовані по осях  $d$  та  $q$  ротора. Складова по осі  $d$  являється потокостворюючою, по осі  $q$  - моментостворюючою. Характеристики векторного асинхронного електроприводу по точності і швидкодії відповідають характеристикам двозонного електроприводу постійного струму.

## 2.4 Вибір гальмівного резистора

Перетворювачі частоти без застосування додаткового гальмівного резистору забезпечують лише 30% від максимального гальмівного моменту (гальмування постійним струмом, гальмування магнітним потоком).

Додаткові гальмівні резистори використовуються у системах з великим моментом інерції, у технологічних процесах вимагаючих від обладнання високої динаміки і швидкого гальмування, приводи, робота яких вимагає перехід двигуна в генераторний режим).

Гальмівні резистори діляться на дві категорії: призначені для легкого та важкого режимів роботи.

Гальмівні резистори для легкого режиму роботи забезпечують номінальний гальмівний протягом 5 секунд при гальмуванні від максимальної швидкості до нуля.

Гальмівні резистор для важкого режиму роботи забезпечують номінальний гальмівний момент при максимальній швидкості протягом 3 секунд. Потім ще протягом 7 секунд при гальмуванні від максимальної швидкості до нуля. В обох випадках - не частіше 1 разу на 2 хв.

Для невеликих потужностей, резистори виготовляють з алюмінієвого профілю. Резистори на великі потужності виготовляють зі сталевих пластин

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

забезпеченими вбудованим тепловим ключем - температура розчеплення 220 °С.

На Рис. 4. зображено креслення типового гальмівного резистора. Його корпус зроблено з алюмінію для кращого тепловідводу.

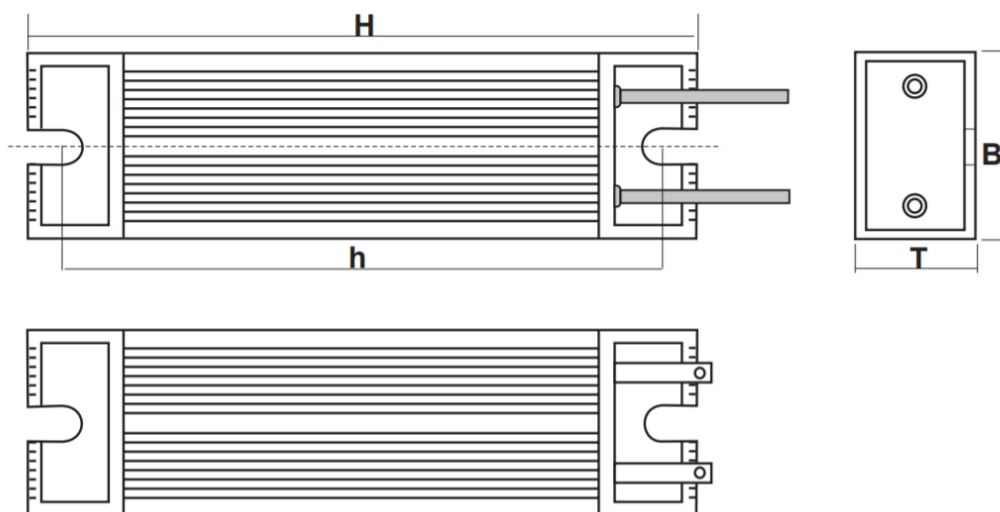


Рис. 4. – обраний гальмівний резистор.

Для перетворювача частоти ATV71HU40N4Z, згідно каталогу, необхідно вибрати гальмівний пристрій типу VW3 A7 701 для важкого режиму.

## 2.5 Вибір програмного забезпечення для налаштування ПЧ

Перетворювачі частоти компанії Schneider Electric можливо налаштувати як за допомогою лицевої панелі так і за допомогою спеціального програмного забезпечення. Використання ПО дозволяє гнучко налаштувати процеси в ПЧ. Зняти та зберегти графіки перехідних процесів.

Перетворювачі серії Altivar можна налаштувати за допомогою декількох програм, або керувати за допомогою зовнішнього контролеру. Вибір пав на програму SoMove. Це ПО від компанії розробника ПЧ Altivar. Вона дозволяє сконфігурувати перетворювач частоти та моніторити показники його роботи. Так само за допомогою ПО SoMove можна переносити налаштування від одного пристрою до іншого, обмінюватися

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		



проектами налаштувань пристроїв між наладчиками і пересилати їх в технічну підтримку Schneider Electric для аналізу і корекції налаштувань. Для кожного пристрою розглядається ПО містить свій набір інструментів, відповідних до задач того чи іншого пристрою. Для перетворювачів частоти (ПЧ) і є інструмент «Осцилограф» («Scope») і «Панель оператора» («Operate», «Dashboard»).

Пристрої, що володіють великими функціональними можливостями мають більше інструментів, наприклад, для перетворювачів частоти Altivar Process ATV600 в SoMove існують мнемосхеми для настройки функцій моніторингу насосних агрегатів. Для всіх пристроїв першої вкладкою в ПО SoMove є вкладка «Моє пристрій» («My Device») з описом характеристик, версією його програмного забезпечення, серійних номерів і описом підключених до нього карт розширення. Дана вкладка дозволяє швидко ідентифікувати пристрій.

Рис. 5 показує головну сторінку з вибраним перетворювачем частоти, його параметрами та серійними номерами.

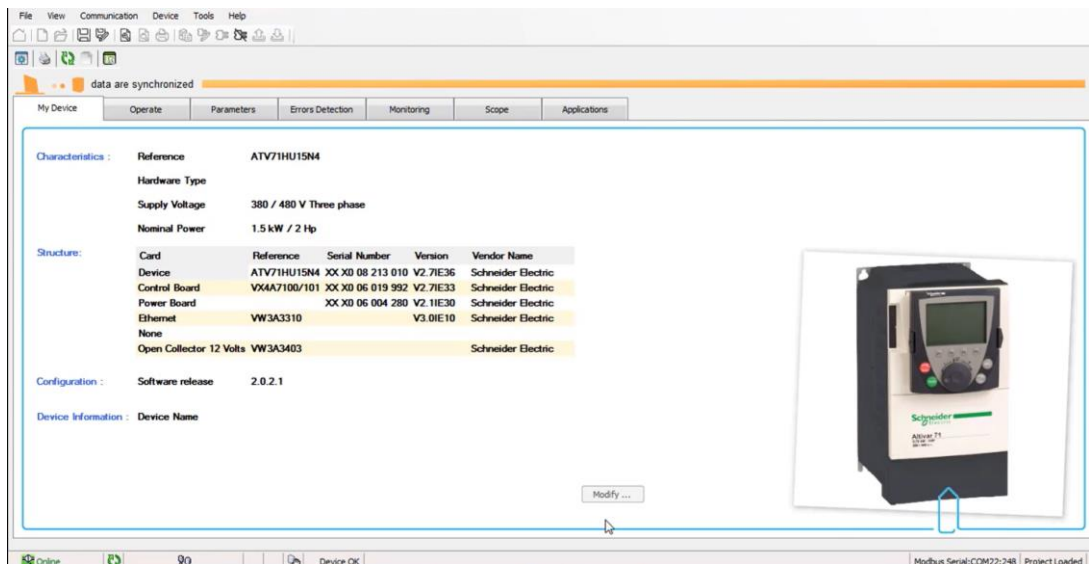


Рис. 5 – Головна сторінка програмного забезпечення SoMove від Schneider Electric.

### 3 Синтез системи автоматичного керування.

#### 3.1 Вибір системи керування

Обраний перетворювач частоти реалізує векторний закон регулювання. Суть векторного регулювання полягає в незалежному управлінні двома складовими струму статора, орієнтованими по осях d, q ротора. Складова по осі d являється потокостворюючою, по осі q - моментостворюючою. Характеристики векторного асинхронного електроприводу, таким чином, по точності і швидкодії наближаються до характеристик двозонного електроприводу постійного струму.

Функціональна схема електроприводу з векторним керуванням показана на рис. 4.

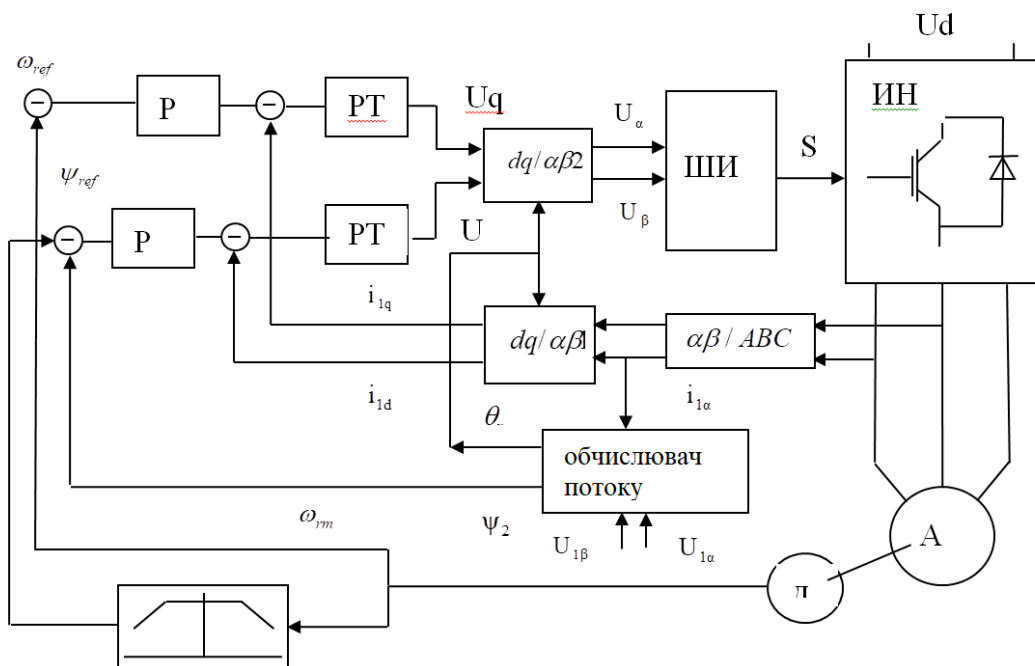


Рис. 6. - Функціональна схема електроприводу, реалізуюча векторне керування.

В системах координат (нерухомій або обертовій) рівняння узагальнених векторів асинхронного двигуна набувають вигляду:

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_1 \quad (3.1)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{I}_2 R_2 + \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j\omega_k - Z_n \omega \bar{\Psi}_2 \quad (3.2)$$

$$\bar{\Psi}_1 = \bar{I}_1 L_1 + \bar{I}_2 L_m \quad (3.3)$$

$$\bar{\Psi}_2 = \bar{I}_2 L_2 + \bar{I}_1 L_m \quad (3.4)$$

де  $Z_n$  – кількість пар полюсів;  $\omega$  – кутова швидкість ротора;  $\omega_k$  – швидкість обертання координатних осей./

Момент двигуна є векторним добутком будь-якої пари векторів. З наведених рівнянь виходить, що таких пар може бути шість. Найчастіше застосовують такі рівняння моменту двигуна:

$$M = \frac{3}{2} Z_n \bar{\Psi}_1 \bar{I}_1 \quad (3.5)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_n L_m \bar{I}_1 \bar{I}_2 \quad (3.6)$$

$$M = \frac{3}{2} Z_n \frac{L_m}{L_2} \bar{\Psi}_2 \bar{I}_1 \quad (3.7)$$

Векторне керування асинхронного двигуна вимагає перетворення координат. Напряга статора описується в осях  $\alpha, \beta$ , роторні величини - в осях  $d, q$ .

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Регулювальники поточозчеплення, швидкості, складових струмів по осях  $d$ ,  $q$  розраховуються виходячи з симетричного критерію оптимізації відповідно до передавальної функції об'єкту управління (асинхронний двигун) по цих осях.

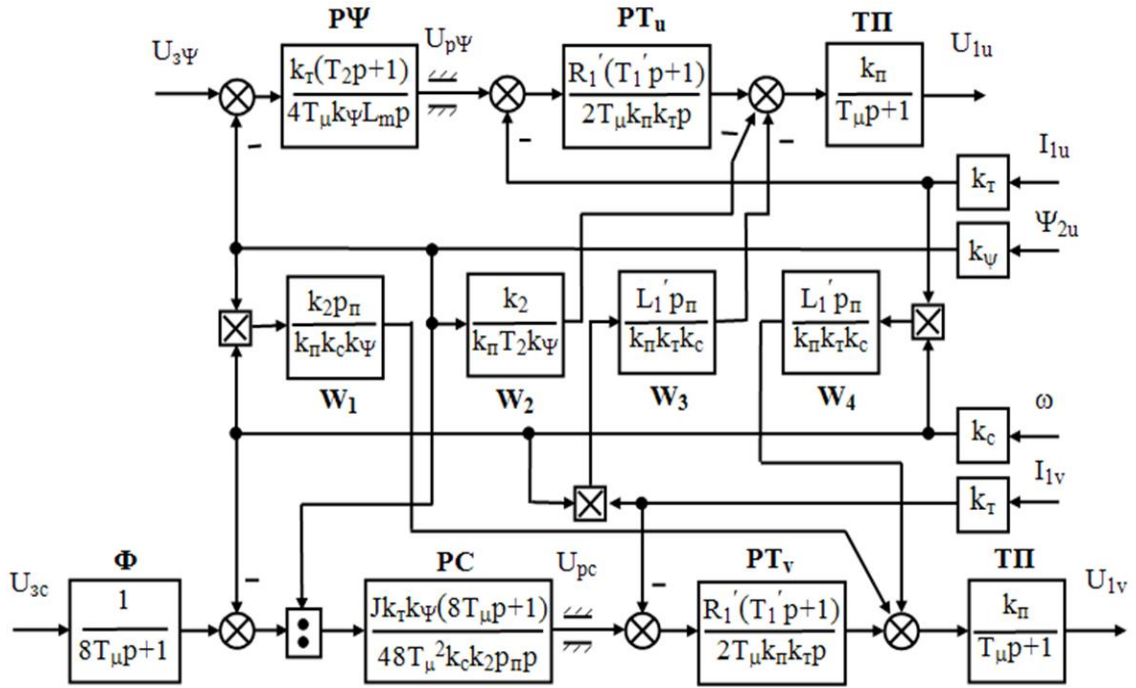


Рис. 7. Структурна схема системи автоматичного керування електропривода з векторним керуванням.

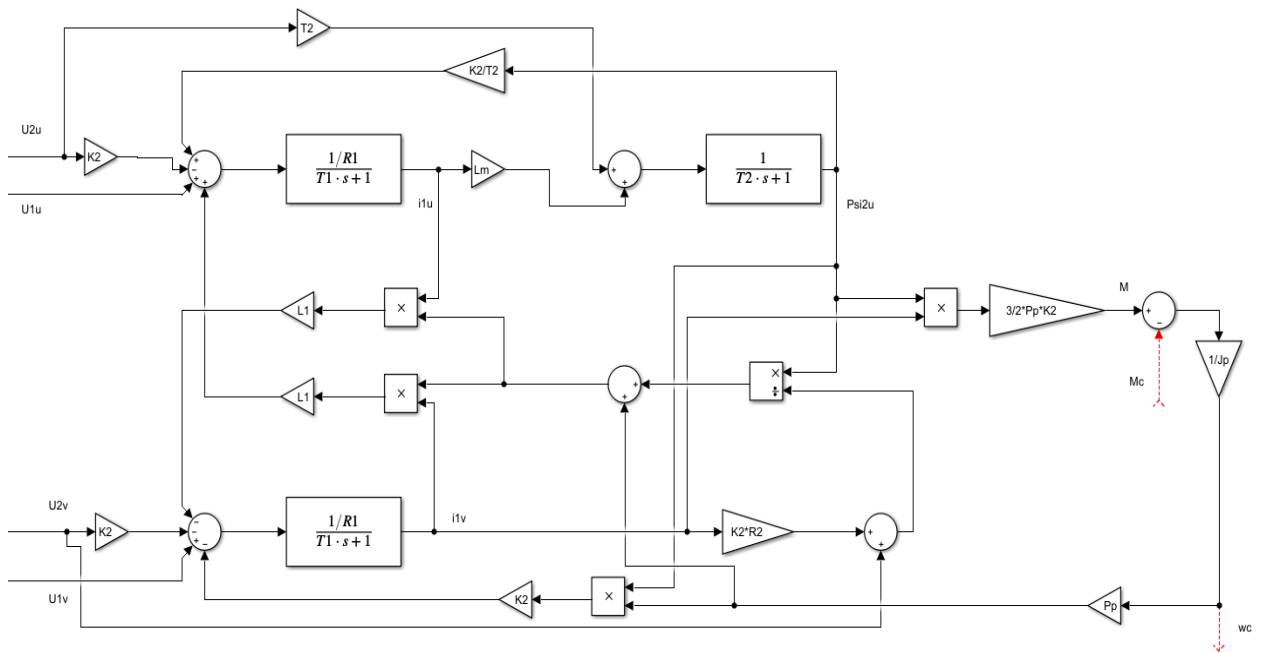


Рис. 8. Структурна схема асинхронного двигуна в осях d,q синтезована в пакеті Matlab/Simulink.

### 3.2 Розрахунок параметрів системи автоматичного керування для данної системи

Розрахунок параметрів системи автоматичного регулювання і моделювання проводяться у відносних одиницях.

Розраховуємо параметри передаточних ланок, які використовуються у моделі системи автоматичного регулювання:

Базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_m}{I_m \cdot \sqrt{3}} = \frac{380}{79 \cdot \sqrt{3}} = 2,77 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

Опори в ланцюзі статора:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$R_{1b} = R_1 \cdot Z_b = 0,103 \cdot 2,77 = 0,28 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

$$X_{1b} = X_1 \cdot Z_b = 0,172 \cdot 2,77 = 0,47 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Опори в ланцюзі ротора:

$$R_{2b} = R_2 \cdot Z_b = 0,237 \cdot 2,77 = 0,656 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

$$X_{2b} = X_2 \cdot Z_b = 0,366 \cdot 2,77 = 1,13 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$k_t = \frac{U_b}{2 \cdot I_H} = \frac{10}{2 \cdot 79} = 0,063 \quad (3.13)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_s = \frac{U_b}{\omega_{\max}} = \frac{10}{945 \cdot \pi / 30} = 0,101 \quad (3.14)$$

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,313}{0,338} = 0,927 \quad (3.15)$$

Постійна часу ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,338}{0,237} = 1,426 \text{ с} \quad (3.16)$$

Номінальне потокозчеплення:

$$\Psi_n = \frac{I_n}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_n \cdot 2p \cdot k_2} = \frac{79}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 79 \cdot 6 \cdot 0,927} = 0,084 \quad (3.17)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по потокозчепленню:

$$k_\psi = \frac{U_b}{\Psi_n} = \frac{10}{0,127} = 119,04 \quad (3.18)$$

Передаюча функція регулятора швидкості :

$$W_{PC}(p) = \frac{J k_t k_\Psi (8T_\mu p + 1)}{48T_\mu^2 k_C k_2 p_n p} \quad (3.19)$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тоді пропорційна частина регулятора швидкості:

$$W_{PC\Pi}(p) = \frac{J k_t k_\Psi}{6T_\mu k_C k_2 p_n} = \frac{5,3 \cdot 0,063 \cdot 119,04}{6 \cdot 0,001 \cdot 0,101 \cdot 0,927 \cdot 6} = 11792 \quad (3.20)$$

Інтегральна частина:

$$W_{PCИ}(p) = \frac{J k_t k_\Psi}{48T_\mu^2 k_C k_2 p_n} = \frac{5,3 \cdot 0,063 \cdot 119,04}{48 \cdot 0,001^2 \cdot 0,101 \cdot 0,927 \cdot 6} = 1474061 \quad (3.21)$$

Передаточна функція регулятора поточозчеплення:

$$W_{P\Psi}(p) = \frac{k_t (T_2 p + 1)}{4T_\mu k_\Psi L_m p} \quad (3.22)$$

Пропорційна частина регулятора поточозчеплення:

$$W_{P\Psi\Pi}(p) = \frac{k_t T_2}{4T_\mu k_\Psi L_m} = \frac{0,063 \cdot 1,426}{4 \cdot 0,001 \cdot 119,04 \cdot 0,313} = 0,602 \quad (3.23)$$

Інтегральна частина регулятора поточозчеплення:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		



$$W_{P\Psi II}(p) = \frac{k_t (T_2^{p+1})}{4T_\mu k_\Psi L_m} = \frac{0,063}{4 \cdot 0,001 \cdot 119,04 \cdot 0,313} = 0,422 \quad (3.24)$$

Розрахункові параметри САР використовуються для програмування перетворювача частоти та для математичного моделювання.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

## 4 Дослідження динаміки електропривода

### 4.1 Моделювання розрахованої системи автоматичного керування

Після розрахунку всіх параметрів математичної системи автоматичного регулювання 3.8-3.24, можна синтезувати структурну схему електропривода Рис. 7. та Рис. 8. у пакеті Matlab/Simulink.

Після закінчення збирання схеми електричного двигуна, потрібно перевірити її роботу на відповідність реального двигуна. На входи математичної моделі асинхронного двигуна потрібно сигнали які відповідають сигналам трифазної напруги. Якщо зняті осцилограми швидкості та моменту електричного двигуна відповідають реальним, це означає , що модель двигуна зібрано та розраховано коректно. Наступним кроком є синтез системи автоматичного керування.

На Рис. 9 наведено повну математичну модель електропривода зібрану у середовищі Matlab/Simulink. Підставивши у неї розраховані вище параметри, отримаємо графіки перехідних процесів в системі автоматичного керування та асинхронному двигуні.

Рис. 10 показує відпрацювання моделлю подачу ступінчатого завдання на максимальну швидкість  $U_z = 10В$ . Як видно з графіків перехідних процесів. На при розгоні від нуля до заданої швидкості двигун розвиває максимальний момент. Після того як його швидкість достигла заданої, тобто максимальної, момент двигуна дорівнює моменту опору системи.

На Рис. 9. наведено графік перехідних процесів при відпрацюванні системою заданої тахограми руху візка переміщення крану. Як видно з графіків моменту, швидкості та магнітному потоку двигуна, синтезована система повністю відповідає всім стандартам систем автоматичного керування.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

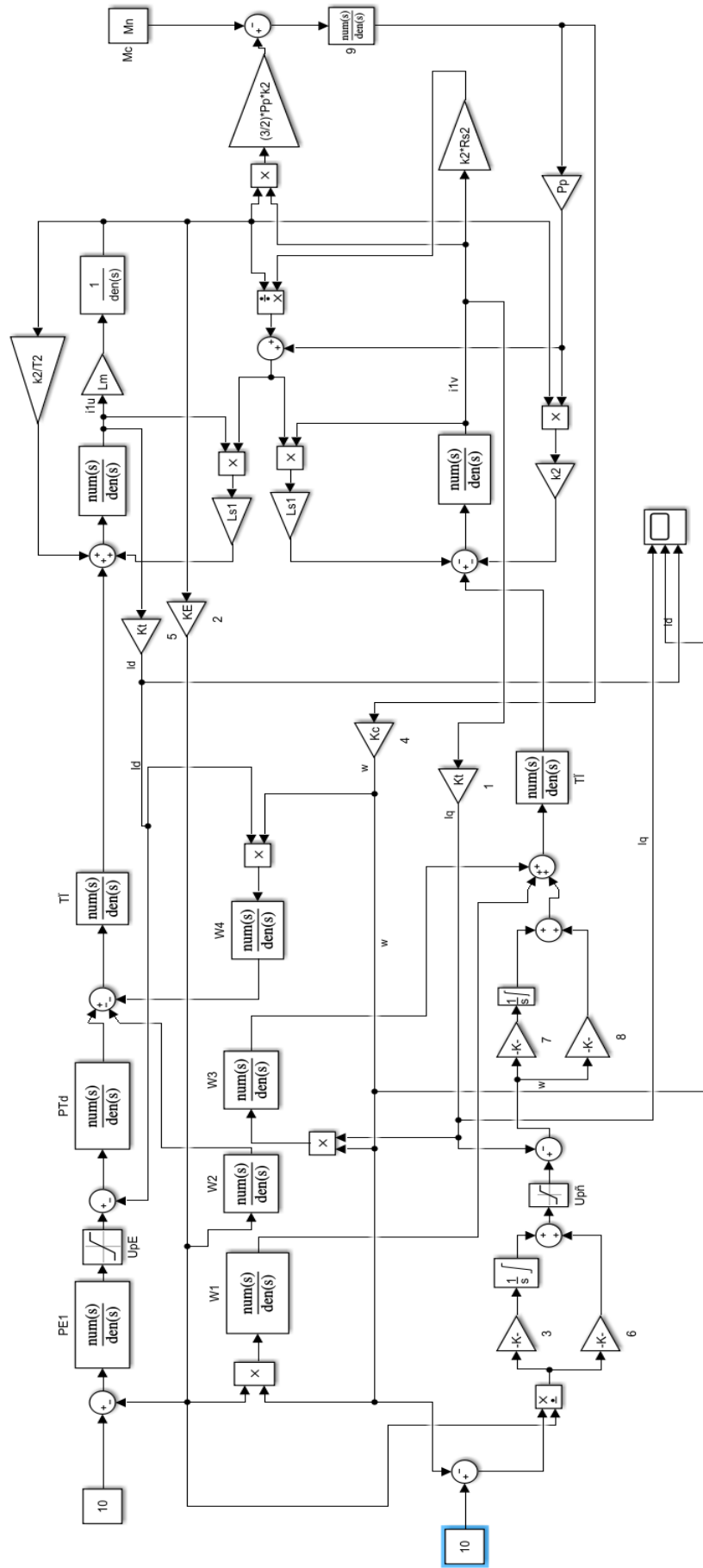


Рис. 9. - Математична модель електропривода у середовищі MATLAB/Simulink

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
-----	------	----------	--------	-----

ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ

Арк.

35

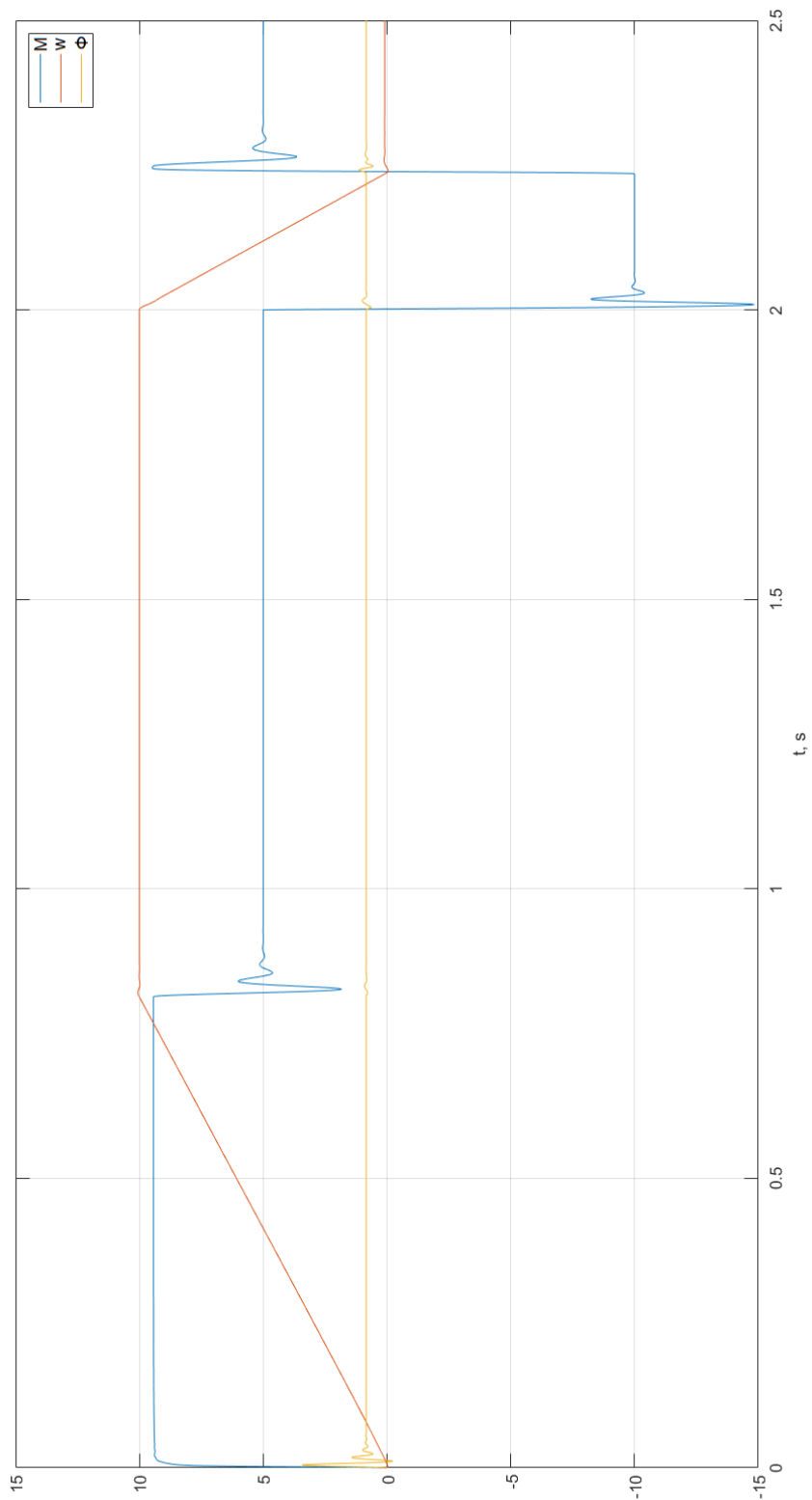


Рис. 10 - Графіки перехідних процесів в електроприводі при відпрацюванні системою  
максимального ступінчатого завдання на швидкість.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ

Арк.

36

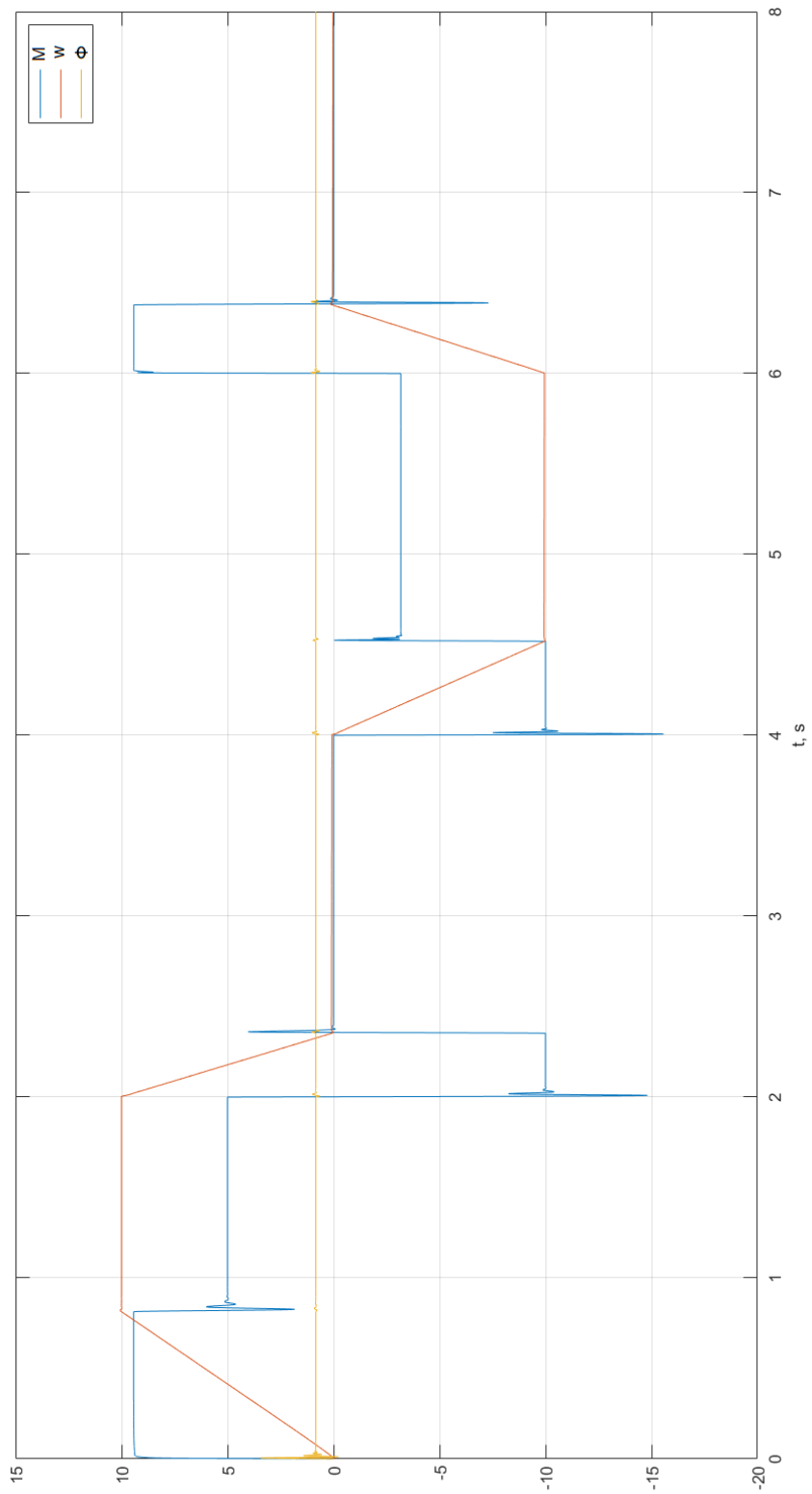


Рис. 11. - Графіки перехідних процесів в електроприводі при відпрацюванні системою тахограми руху системи переміщення крану.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### Вступ

Частотне регулювання ефективно застосовується на підприємствах, промисловості та комунальних господарствах.

- момент і підвищена точність при роботі на дуже низькій швидкості і поліпшені динамічні характеристики з алгоритмами векторного управління потоком в розімкнутій або замкнутій системі приводу;

- розширений діапазон вихідної частоти для високошвидкісних двигунів;

- точність підтримки швидкості і енергозбереження для розімкнутого приводу з синхронним двигуном;

- плавне, без ударне управління незбалансованими механізмами за допомогою системи адаптації потужності;

можлива модернізація діючих агрегатів без заміни основного устаткування і практично без перерв в його роботі.

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення економічних показників від впровадження модернізації електропривода переміщення візка мостового крану. Суть технічного рішення полягає у заміні старої системи керування на перетворювач частоти.

Впровадження частотного регулювання електроприводів (ЧРП) дозволяє:

- підвищити надійність роботи і системи в цілому;
- підвищити точність регулювання;
- економити енергоресурси і енергію;
- автоматизувати виробництво.

Для обґрунтування економічної доцільності пропонованого в дипломному проекті обладнання необхідно вирішити наступні завдання:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. визначити розмір капітальних витрат;
2. розрахувати обсяг експлуатаційних витрат;
3. визначити і проаналізувати показники економічної ефективності від впровадження технічного рішення.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

Для визначення капітальних витрат можна скористатися формулою

$$K_{pr} = K_{об}(\sum Ci) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр} \text{ грн.}$$

де  $K_{об}(\sum Ci)$  - вартість придбання електроустаткування (електричний двигун та перетворювач), необхідного для реалізації прийнятого технічного рішення.

$Z_{тзс}$  - транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$  - витрати на монтажні витрати;

$Z_{н}$  - витрати на налагоджувальні витрати;

$Z_{пр}$  - інші одноразові вкладення грошових коштів.

Свідка капітальних витрат занесена до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Зведення капітальних витрат

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун МТКН-412-6	1	47000	47000

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		39

Продовження Таблиці 5.1.

2	Перетворювач частоти Altivar 71 та гальмівний пристрій (у комплекті)	1	120300	120300
	ВСЬОГО			167300

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ( $Z_{тзс}$ ) визначається виходячи з:

1. відстані доставки устаткування від місця придбання до місця експлуатації;
2. кількості, маси і габаритів устаткування;
3. виду транспортних засобів;
4. транспортних тарифів;
5. розцінок на навантажувально-розвантажувальні роботи;
6. витрат на складську обробку.

Вартість перевезення устаткування із Польщі (місто Краків) в Дніпро, входить у вартість електроустаткування.

Витрати на монтажні ( $Z_m$ ) і налагоджувальні роботи ( $Z_n$ ) можна визначити таким чином:

$$Z_m = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр} = 4 \cdot 68,93 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,375 \cdot 1,1 + 1500 = 5503 \text{ грн.}$$

$$Z_n = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр} = 2 \cdot 68,93 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,375 \cdot 1,1 + 1500 = 3501 \text{ грн.}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



де  $Ч_i$  - чисельність працівників  $i$ -го розряду, необхідних для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, чол.

$a_i$  - часова тарифна ставка 4-го розряду.

$t_i$  - час, необхідний для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, години

$K_{\partial}$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{сз}$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_i$  - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення грошових коштів ( $З_{np}$ ) можуть включати витрати на:

- 1) демонтаж застарілого устаткування;
- 2) проведення проектно-конструкторських робіт;
- 3) підготовку персоналу;
- 4) придбання готового програмного забезпечення.

Капітальні витрати:

$$K_{np} = 124340 + 5503 + 3501 = 133\,345 \text{ грн.}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

1. Амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
2. Заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
3. Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ( $C_c$ );
4. Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування ( $C_t$ );
5. Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування ( $C_э$ );
6. Інші експлуатаційні витрати ( $C_i$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_э + C_{ip}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

## 5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

підприємства про балансову вартість замінюваного устаткування для базового варіанту. Дані розрахунку занесені до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Проектний варіант	133345	20	26669
Базовий варіант	126500	20	25300

Базова балансова вартість замінюваного устаткування узяті за даними відділу основних засобів підприємства, що складають 148500 грн.

#### 5.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітником і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати по формулі:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot T_i \cdot m_i \cdot R_{\sum i} + \frac{s_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}$$

де: n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

Ri - годинна ставка робочих, виконуючих ремонт, грн. (68,93 грн);

ti - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год/од.: (середнього – 7 год)

mi - число ремонтів за рік;

RΣ- сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування :

Асинхронні двигуни від 30 до 150 кВт – 2,5;

Si - вартість однотипних замінюваних елементів, грн.;

П- кількість однотипних замінюваних елементів;

T- середній термін служби деталей цього типу, ч.;

Tф- число годин роботи апаратури в рік, ч.

$$Z_{m.p.} = 68,93 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 2,5 + \frac{213 \cdot 3}{1600} \cdot 1920 = 1973 \text{ грн.}$$

$$Z_{m.p.} = 68,93 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 2,5 + \frac{456 \cdot 4}{1000} \cdot 1920 = 4708 \text{ грн.}$$

### 5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту проектування по формулі:

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$C = W_p \cdot C_e$$

де:  $W_p$  - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год.;

$C_e$  - тариф на електроенергію, грн./кВт·год.

2,02 грн./кВт год - вартість електроенергії для підприємств станом на 22.11.20;

Кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год розраховуємо по формулі:

$$W_{з.пр.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 30 = 57600 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{з.баз.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 32 = 61440 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де:  $t_d$  - кількість робочих днів в місяць;

$t_h$  - кількість робочих годин в зміну;

$t_n$  - кількість місяців на рік;

$P_n$  - потужність електродвигуна.

Вартість електроенергії:

$$C_{е.пр} = W_p \cdot C_e = 57600 \cdot 2,02 = 116352 \text{ грн.}$$

$$C_{е.баз} = W_p \cdot C_e = 61440 \cdot 2,02 = 124109 \text{ грн.}$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проектному варіанті:

$$C_{пр} = C_a + C_c + C_з = 26669 + 1973 + 116352 = 144\,994 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати у базовому варіанті:

$$C_б = C_a + C_c + C_з = 25300 + 4708 + 124109 = 154\,117 \text{ грн.}$$

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається:

$$\mathcal{E} = \Delta\Pi + \Delta C = 12869 + 9\,124 = 21\,992 \text{ грн}$$

де :  $\Delta\Pi$  - повний річний прибуток;

$\Delta C$  - економія (перевитрата) на експлуатаційних витратах, знаходиться за формулою.

$$\Delta C = C_{баз} - C_{пр} = 154117 - 144994 = 9\,124 \text{ грн.}$$

### 5.3.Визначення і аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності що розглядаються в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників :

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- а) Розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат  $E_p$ ;  
 б) Терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ ;

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = \frac{\mathcal{E}}{K}$$

$$E_p = \frac{21\,992}{133\,345} = 0,17$$

де  $\mathcal{E}$ - загальна річна економія від впровадження об'єкту проектування, тисяч грн.;

$K$ -капітальні витрати по варіанту, що викликали економію, тисяч грн.;

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження варіанту :

$$T_p = \frac{K}{\mathcal{E}} = \frac{133\,345}{21\,992} = 6 \text{ років}$$

Проект капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_k$$

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів дипломного проекту наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5. 3 - Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№	Найменування	Од. виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Капітальні витрати	грн.	126500	133345
2	Експлуатаційні витрати	грн	124109	116352
3	Річна економія	грн		21992
4	Розрахунковий коефіцієнт	од.		0,17
5	Термін окупності	років		6
6	Вартість електроенергії	грн	124109	116352



## Висновок

У розрахунках економічного розділу були отримані значення проектних капіталовкладень, витрат на монтажні і налагоджувальні роботи, річних експлуатаційних витрат, вартості електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, витрат на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації, річна економія від впровадження модернізації, коефіцієнта ефективності капітальних витрат та терміну окупності капітальних витрат.

Річна економія від модернізації запропонованого устаткування складає 21992 гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,17 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 6 років.

Таким чином, можна сказати, що заміна старого обладнання на нове є економічно вигідним рішенням. Система асинхронний двигун - перетворювач частоти не тільки покращить якість регулювання, перехідних процесів а й зекономить значну кількість грошей.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було успішно замінено стару систему електроприводу переміщення крану. Підібрано електричний двигун відповідний до сучасних стандартів та перетворювач частоти.

У проекті була розрахована система автоматичного керування електроприводу переміщення крану. На базі цих розрахунків створена модель електропривода у пакеті Matlab/Simulink, з якої зняті характеристики перехідних процесів. Описано поведінку моменту, швидкості та магнітного потоку асинхронного двигуна при відпрацюванні заданої тахограми руху.

У розділі економіки шляхом розрахунків встановлена доцільність обраного технічного рішення по заміні старого електропривода переміщення крану на нове, більш відповідне сучасним стандартам регульованого електропривода. Річна економія від модернізації запропонованого устаткування складає 47081,8 гривень, розрахунковий коефіцієнт ефективності складає 0,37 і розрахунковий термін окупності капітальних вкладень складає 2,6 років.

Аналізуючи все вищезазначене можна сказати, що в дипломі була доведена доцільність використання синтезованої системи автоматичного керування.

					ЕП.ПД. 00.00.02.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колб А.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Д.: НГУ. – 2006.
2. Вешевский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977. – 432 с.
3. Яуре Я.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
4. Народицкий А.Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов, М.: Энергия. 2004. 224 с.
5. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий/Под ред. М. Г. Зимейкова, Г. В. Розейберга, Е. М. Феськова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 480 с.
6. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2019. - 18 с
7. Справочник по кранам. В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов [Текст]Т. 2. / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин, 1988. - 559 с.
8. Преобразователи частоты Altivar. Руководство.
9. Довідник по кранах Александров М.П. Л Машинобудування, 1988р
10. Электромагнітні та електромеханічні процеси в частотно - регульованих асинхронних електроприводах. Поздеев А.Д Чебоксари, 1998. 172 с

					ЕП.ПД. 00.00.Д.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дат		