

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
НТУ "Дніпровська політехніка"

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**дипломного проекту (роботи)**

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 Електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.050702 «Електромеханіка»  
(код і назва напряму підготовки)

освітній рівень бакалавр  
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки  
(код і назва кваліфікації)

на тему: Модернізація електропривода переміщувального тельферного крану

**Виконавець:**

студент 4 курсу, групи ЕМ-15-1

\_\_\_\_\_ Шаповалов О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<i>Бородай В.А.</i>		
розділів			
<i>Спеціальна частина</i>	<i>Бакутін А.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>Столбченко О.В.</i>		
<i>Економіка</i>	<i>Тимошенко Л.В.</i>		
Рецензент			
Нормоконтроль	<i>Казачковський М.М.</i>		

Дніпро  
2019

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
НТУ «Дніпровська політехніка»

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Завідувач кафедри

електроприводу

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

30.01.2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМ-15-1 Шаповалова О.О.

(група)

(прізвище та ініціали)

**Тема дипломного проекту:** Модернізація електропривода  
переміщувального тельферного крану

затверджена наказом ректора ДВНЗ НТУ "Дніпровська політехніка" від  
18.06.2019 № 568-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	Модернізація електропривода переміщувального тельферного крану	30.01 – 27.05
Охорона праці	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, заходи щодо їх усунення та розрахунок системи заземлення.	28.05 – 3.06
Економічний	Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту.	4.06 – 18 .06

Завдання видав

(підпис)

Бакутін А.В.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Шаповалов О.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 30.01.2019

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 18.06.2019

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 63 стор., 6 таблиць, 21 рисунків, 16 джерел.

Мета проекту: розрахунок і вибір електропривода переміщення електричної талі ТЭ-500.

В першій частині проекту наведено опис механізму переміщення талі та його технічна характеристика.

В розділі 2 “Автоматизований електропривод” виконано розрахунок потужності електродвигуна, розрахунок системі регулювання швидкості асинхронного двигуна з перетворювачем частоти. Вибрано перетворювач частоти.

В розділі 3 методом математичного моделювання досліджено динаміку запропонованої системи електропривода.

В розділі “Охорона праці” проведено аналіз шкідливих факторів і розроблено інженерно-технічні заходи для захисту обслуговуючого персоналу.

В розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховані капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження запропонованої системи електропривода.

**КРАН МОСТОВИЙ ОДНОБАЛОЧНИЙ, ЕЛЕКТРИЧНА ТАЛЬ, МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, МОДЕЛЮВАННЯ.**

Підп. і дата								
Інв. № дубл.								
Зам. Інв. №								
Підп. і дата								
Інв. № подл.						ЕП.ДП.19.07.ПЗ		
	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата			
	Розроб.	Шаповал А.			18.06.19	Лит.	Аркуш	Аркушів
	Пров.	Бородай В.А.			18.06.19		1	2
	Н. контр.	Казачковський			18.06.19	Модернізація електропривода переміщувального тельферного крана НТУ «Дніпровська політехніка» Кафедра електропривода гр.. ЕМ-15-1		
Затв.								





5.2.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	58
5.2.5 Розрахунок єдиного соціального внеску .....	59
5.2.6 Визначення інших витрат .....	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	62

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						4
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

На великій кількості підприємств України для переміщення вантажів невеликої ваги, від декількох сотень кілограмів до 10 тон, використовуються електричні талі, або тельфери. Сучасні техніка та технологічні операції потребують постійного удосконалення. Підвищення продуктивності виробництва потребує навіть від допоміжних машин та механізмів використання всіх їх можливих ресурсів. Нове обладнання проектується і будується з урахуванням нових вимог. А для підвищення експлуатаційних можливостей старого обладнання необхідно проводити технічну модернізацію шляхом застосування нових зразків техніки.

Підвищення експлуатаційних можливостей для електричної талі можливо з застосуванням, наприклад, більш сучасних та досконаліх систем електропривода.

Тому задачею дипломного проекту є модернізація електроприводу переміщення талі шляхом застосування сучасного частотно-керованого електропривода.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ					Арк
										5
					Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Тельферні крани використовуються на багатьох підприємствах для виконання не частих допоміжних вантажно-розвантажувальних операцій. Приклад однобалочного тельферного крану вантажопідйомністю 5 тон показано на рис. 1.1.

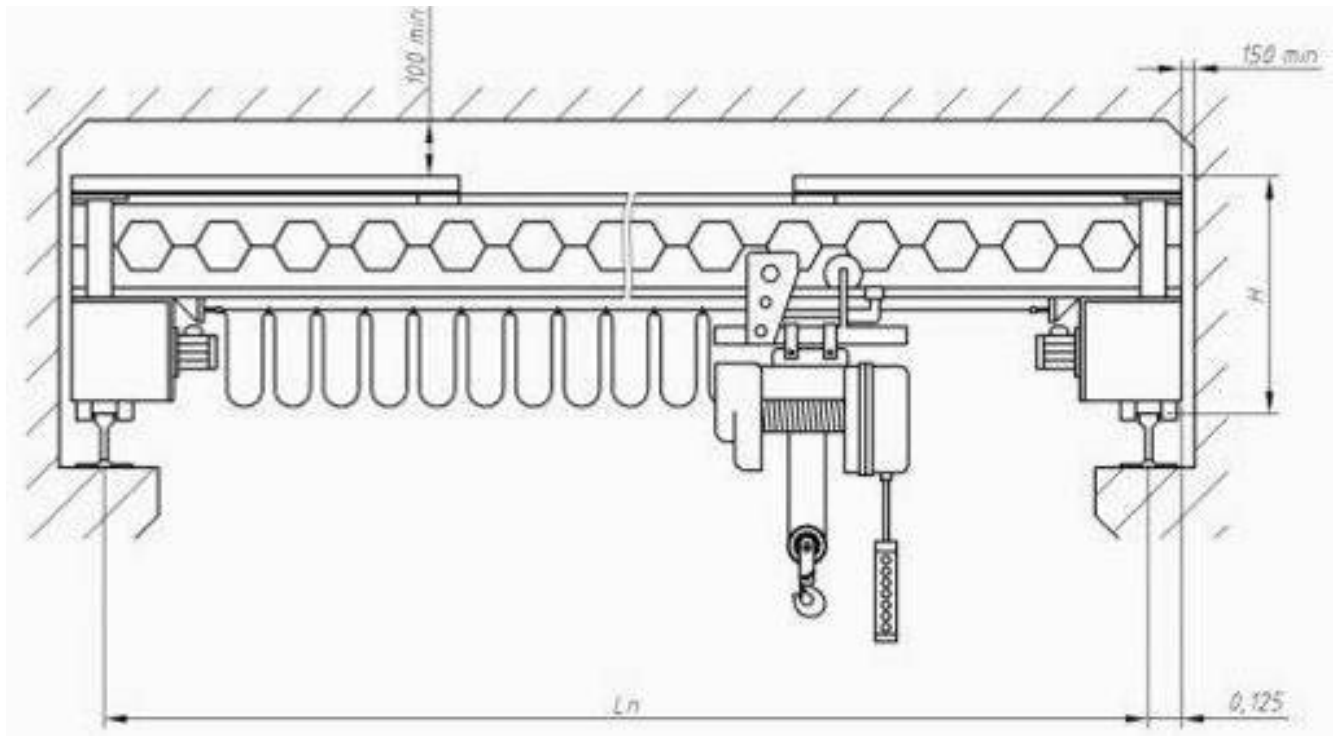


Рисунок 1.1 – Кран однобалочний мостовий з електричною талю (тельферний).  
Загальний вид

Інтенсивність роботи такого крану невисока і згідно табл. 1.3 [2] він відноситься до режимної групи 3К, що для мостових кранів з підвісними телями відповідає перевантажувальним роботам обмеженої інтенсивності. З цієї ж таблиці визначаємо режим роботи механізму підйому - 3М. Даний режим роботи механізму характеризує його за такими показателям (табл. 1.1 [3]):

- тривалість вмикання ПВ=25%,
- режим роботи – середній,

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

6



- середня за зміну кількість вмикань на годину – 120,

- коефіцієнт використання крану за вантажопідйомністю –  $K_{ГР} = 0,75$ .

У якості головного елемента такого крану використовується електрична таль. Таль електрична канатна (електротельфер або просто тельфер) загального призначення вантажопідйомність 5 т типу ТЭ500-921 являє собою підйомно-транспортний механізм загального використання, призначений для вертикального підйому та опускання вантажу, а також для його горизонтального переміщення. Може використовуватись у складі одно балочним мостових або козлових та інших типів вантажних кранів (рис. 1.2). Переміщення вантажу здійснюється лише вздовж підвісного одно рельсового шляху по якому рухається таль. Загальна характеристика талі наведена у табл. 1.1.

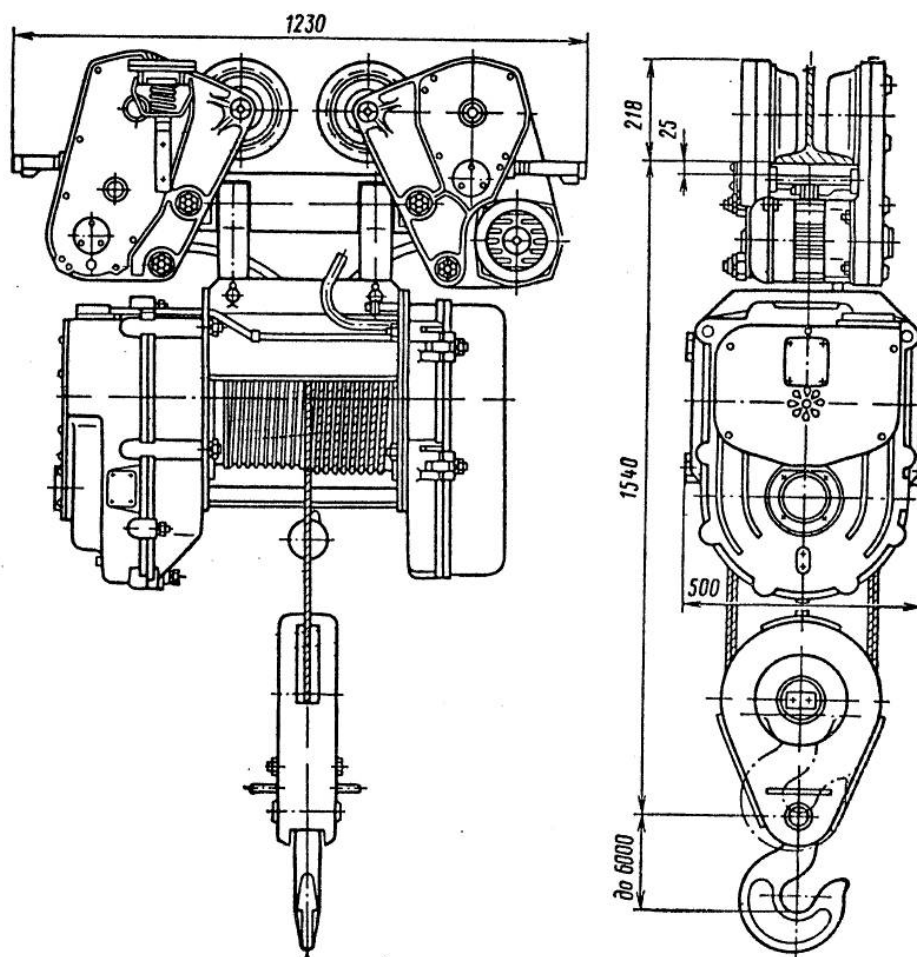


Рисунок 1.2 – Загальний вид талі електричної ТЭ-500

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

7

Таблиця 1.1 - Таль електрична ТЭ-500-921

Вантажопідйомність, кг	5000
Висота підйому, м	12
Вага талі, кг	830
Діаметр барабана, мм	320
Кратність поліспасти	2/1
Швидкість підйому та спуску, м/хв (м/с)	8 (0,13)
Швидкість переміщення, м/хв (м/с)	20 (0,33)
Електродвигун підйому вантажу тип потужність с ПВ = 40 %, кВт	4АСВ132S4У3 8,5
Електродвигун переміщення тельфера тип потужність, кВт	4АХ71А4У3 0,55

Електрична таль складається з двох механізмів – механізму підйому та механізму переміщення.

Механізм підйому (рис. 1.3) облаштований таким чином, щоб в стислих габаритах можна було розмістити необхідну кількість потужних і надійних механізмів. Електродвигун підйому вантажу вбудований в канатний барабан. Механізм підйому має два гальма, один з яких електромагнітний.

Корпус механізму підйому є трубою з привареними фланцями для кріплення з правої сторони литого корпусу шафи електрообладнання, а з лівого - корпусу (також литого) редуктора. У корпусі механізму підйому розміщений мотор-барабан, виконаний з труби з нарізними гвинтовими канавками під одношарову навивку канату. Статор електродвигуна запресований в трубу, вал ротора на опорних підшипниках встановлений у фланцях барабана, а фланці в свою чергу спираються за допомогою великих підшипників на розточення корпусів шафи електрообладнання і редуктора.

Механізм переміщення (рис. 1.4) складається з двох візків, призначених для руху (переміщення) по нижнім полкам двотаврових балок, та траверси, до якої підвішений механізм підйому. Приєднання візків до траверси виконано на шарових опорах, що дозволяє талі проходити кривими ділянками шляху.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

8

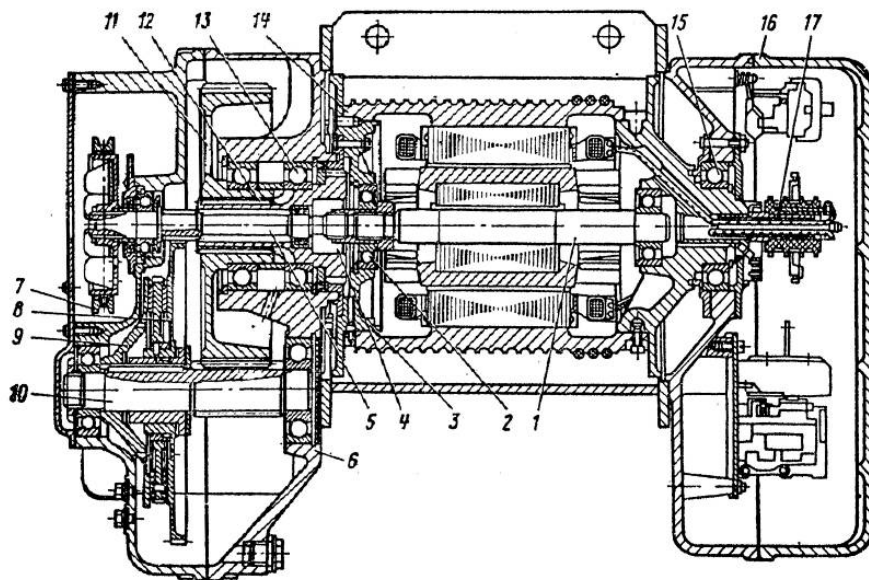


Рисунок 1.3 - Повздовжній перетин механізму підйому вантажу електроталі:

1 - вал двигуна; 2, 13, 15 - однорядні сферичні підшипники; 3 - ступиця вантажного барабана; 4 - шліцові муфти; 5 - швидкохідний вал-шестерня; 6 - редуктор; 7 - шків стопорного гальма; 8, 11 - зубчасте колесо; 9 - вантажоупорне гальмо; 10 - вал-шестерня редуктора; 12 - муфта; 14 - вантажний барабан; 16 - електрична шафа; 17 - струмознімальний пристрій.

Кожен візок складається з двох редукторів з'єднаних між собою стяжками, і має по два ведучих та два холостих катки. Правий редуктор має фланець для приєднання електродвигуна, на вал якого за допомогою шпонки насаджується швидкохідна шестерня. Лівому редуктору рух передається з'єднувальним шестигранним валом. Проміжний вал-шестерня, виготовлений з однієї заготовки, передає обертовий момент на зубчасті колеса, встановлене на осях ходових катків за допомогою сателітових шестерень. Ходові катки мають реборди для фіксації електроталі на полицях двотаврового монорельсу, вони виконані заодно з тихохідної віссю редуктора.

В якості підвісного одно рельсового шляху для талі використовуються двотаврові балки 30М, 36М та 45М відповідно до ГОСТ 19425-74.

Кінематична схема механізму переміщення наведена на рис. 1.5., характеристика у табл. 1.2.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

9

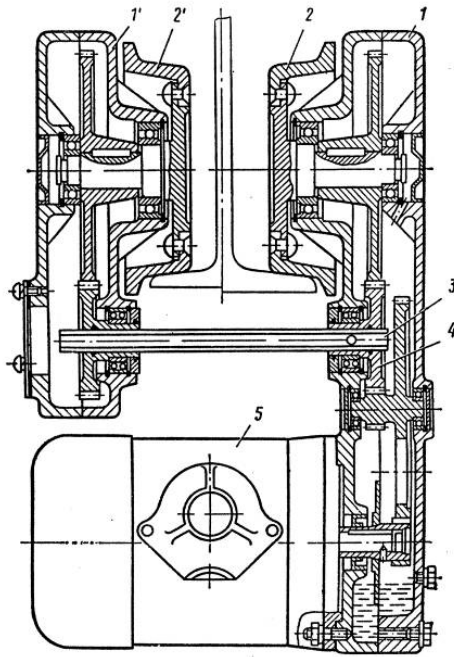


Рисунок 1.4 – Механізм переміщення електродаталі  
 1 і 1' – редуктори; 2 и 2' – привідний та холостий катки; 3 – шестигранний вал;  
 4 – допоміжна шестерня; 5 – електричний двигун

Таблиця 1.2 - До кінематичної схеми механізму переміщення талі

Позначення шестерні		Кількість зубів	Передатне число пари	Загальне передатне число
пара	шестерня			
I	1 та 3	18/92	5,1	34,63
Шестерня проміжна	4	43		
II	2 та 5	14/95	6,79	

Діаметр опорних коліс складає 160 мм [1].

Діаметр опорної цапфи – 50 мм [1].

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. Інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

10

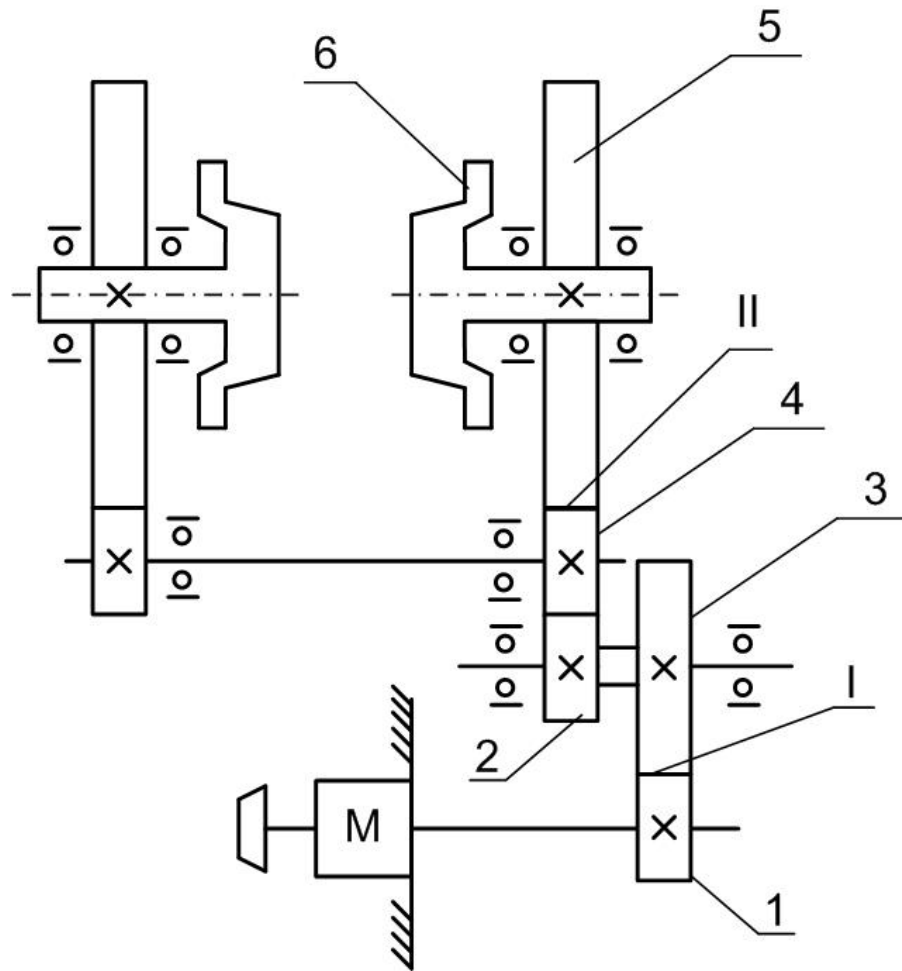


Рисунок 1.5 – Кінематична схема механізму переміщення талі

Розглянемо робочий цикл механізму переміщення (рис. 1.6). Цикл починається з підйому вантажу на висоту, необхідну для зручного пресування. В цей час електропривод переміщення не працює. Після підйому вантажу починається розгін електроприводу переміщення до заданої швидкості (ділянка 1-2) і рух з усталеною швидкістю (ділянка 2-3). На ділянці 3-4 відбувається гальмування до повної зупинки талі і при повній зупинці відбувається накладення гальма. Далі вантаж опускається, електропривод знову не працює і його мета утримувати тельфер на місці. Також на цьому інтервалі може відбуватись підйом порожнього гаку. Потім таль рухається у зворотному напрямку і повертається у початкову позицію. Відповідно на ділянці 5-6 відбувається розгін, на ділянці 6-7 рух зі сталою швидкістю, гальмування - ділянка 7- 8. Після гальмування гак опускається для зачеплення нового вантажу.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

11

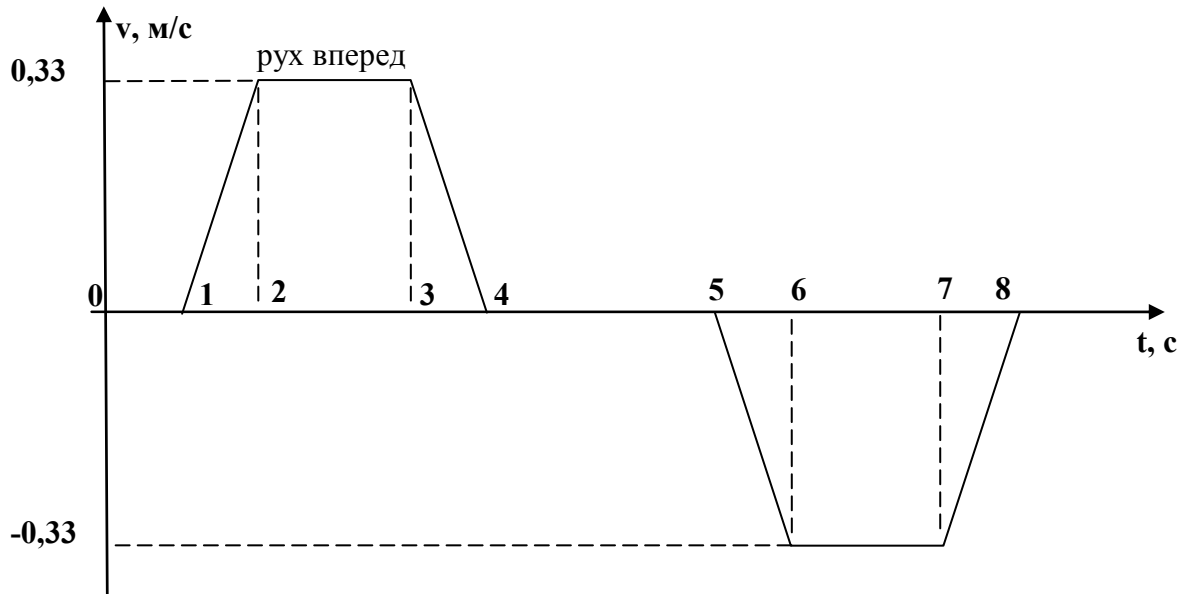


Рисунок 1.6 - Робочий цикл механізму переміщення талі

Розглянуту діаграму можна вважати повною, що враховує роботу механізму підйому. Але на практиці цикл роботи електропривода талі дещо може відрізнитись від розглянутого.

При розробці електроприводу переміщення талі повинні бути дотримані наступні вимоги щодо його характеристик:

- забезпечення заданої робочої швидкості механізму при статичних моментах на валу при переміщенні вантажу;
- забезпечення мінімального часу перехідного процесу;
- забезпечення плавності пуску, реверсу і регулювання швидкості;
- обмеження максимального значення моменту;
- електрообладнання талі повинно забезпечувати надійну роботу, безпечність обслуговування, простоту експлуатації і надійний захист в аварійних режимах;
- для виконання точних операцій позиціювання вантажу діапазон регулювання повинен бути не менше 20:1.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

12

## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Вибір системи електропривода

Як показує практика кранобудування та використання тельферів, основним видом електроприводу у тельферах є асинхронний електропривод. Раніше він виконувався на базі асинхронних короткозамкнених двигунів (АД) загального призначення або спеціальних – з підвищеним ковзанням або підвищеним пусковим моментом, двошвидкісних. На теперішній час така тенденція збереглась, але все більше використовується частотно керований електропривод з асинхронним короткозамкненим двигуном.

На сьогоднішній день та система де-факто стає стандартом у використаннях де необхідно регулювати швидкість АД як в малих, так і в широких діапазонах (до 1000:1), формувати високі пускові моменти, регулювати момент під час роботи і т.д. Сучасні ПЧ мають великі можливості по інтеграції в системи керування різної складності, містять різні набори прикладних об'єктно-орієнтованих функцій. Істотним недоліком є висока вартість ПЧ.

Виходячи з вищенаведеного короткого аналізу сформулюємо вимоги до обладнання системи автоматизованого електроприводу механізму переміщення талі:

- обладнання повинно мати високу надійність;
- мати оптимальне співвідношення ціна / якість;
- задовольняти заданим технічним характеристикам;
- легко доступно на ринку України;
- при необхідності постачальник забезпечує технічну підтримку і швидкий сервіс.

Не дивлячись на високу вартість перетворювача частоти, застосування системи ПЧ-АД дозволить:

- керувати пуско-гальмівними режимами роботи приводу;

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

13

- забезпечити плавне регулювання швидкості двигуна;
- використовувати різні прикладні функції автоматизації, реалізований-ні в ПЧ;

- підвищити довговічність обладнання і його надійність,
- забезпечить різні види захисту електроприводу в одному пристрої.

Також система ПЧ-АД має найбільший еквівалентний коефіцієнт по-корисного дії в порівнянні з іншими системами

## 2.2 Розрахунок навантажувальних діаграм та вибір двигуна

В даному розділі виконаємо розрахунок потужності приводного двигуна. Метою перевірного розрахунку є перевірка на відповідність потужності встановленого двигуна. Перевірочний розрахунок будемо проводити за методом еквівалентного моменту.

Для визначення потужності приводного двигуна розрахуємо статичні і динамічні моменти на валу двигуна. Моменти розраховуємо виходячи з того, що таль переміщує максимально допустимий вантаж в межах робочого майданчику довжиною 10 м (табл. 1.1). При цьому в одну сторону вона їде з вантажем, а назад - порожня.

Сила опору руху ходових коліс талі визначається за наступною формулою:

$$W_{mp} = \frac{(G_T + G_{\Gamma})(2\mu + fd_y)}{D_K} K_{дон},$$

де  $G_T = m_T g$  - відповідно вага талі,  $m_T = 830$  кг;

$G_{\Gamma} = m_{\Gamma} g$  вага максимального вантажу,  $m_{\Gamma} = 5000$  кг (табл. 1.1);

$g$  – прискорення вільного падіння,  $9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$f = 0,015$  - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних коліс талі [3];

$\mu = 0,0005$  м- коефіцієнт тертя кочення [3];

$d_y = 50$  мм діаметр цапфи;

Інв. № подл.	Підп. і дата	Інв. № зубл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	ЕП.ДП.19.07.ПЗ					Арк		
										14		
					Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата			



$D_K = 160$  мм - діаметр колеса;

$K_{don} = 1,3$  - коефіцієнт додаткових опорів.

Сила опору при переміщенні талі з вантажем:

$$W_{mp1} = \frac{(5000 \times 9,81 + 830 \times 9,81)(2 \times 0,0005 + 0,015 \times 0,05)}{0,16} \times 1,3 = 625,54 \text{ Н}$$

Сила опору при переміщенні талі без вантажу:

$$W_{mp2} = \frac{(830 \times 9,81)(2 \times 0,0005 + 0,015 \times 0,05)}{0,16} \times 1,3 = 89,1 \text{ Н}$$

Момент опору на вихідному валу редуктора при переміщенні талі з вантажем дорівнює:

$$M_{C1} = 1,2 W_{mp1} \cdot \frac{D_K}{2} = 1,2 \times 625,54 \times \frac{0,16}{2} = 60,05 \text{ Нм}$$

Момент опору на вихідному валу редуктора при переміщенні талі без вантажу дорівнює:

$$M_{C2} = 1,2 W_{mp2} \cdot \frac{D_K}{2} = 1,2 \times 89,1 \times \frac{0,16}{2} = 8,55 \text{ Нм}$$

Коефіцієнт 1,2 враховує додатковий опір від тертя коліс о реборди.

Виконаємо зведення моментів статичного опору до валу двигуна за формулою:

$$M_{СП} = \frac{M_C}{\eta \cdot i_p},$$

де  $i_p$  - передатне число редуктора,  $i_p = 34,63$ ;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії (ккд) при передачі моменту. За графіками з [3, 4] при повному завантаженні талі  $K=1$  і сумарний ккд редуктора становить 0,95. При переміщенні пустої талі коефіцієнт завантаження складає  $K=0,1$  і ккд становить 0,55.

Момент статичного опору на валу двигуна при переміщенні вантажу:

Підп. і дата					ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						15
Інв. № дубл.						
Зам. Інв. №						
Підп. і дата						
Інв. № подл.						
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		

$$M_{СП1} = \frac{M_{C1}}{\eta \cdot i_p} = \frac{60,05}{0,95 \cdot 34,63} = 1,82 \text{ Нм}$$

Момент статичного опору на валу двигуна при переміщенні талі без вантажу:

$$M_{СП2} = \frac{M_{C1}}{\eta \cdot i_p} = \frac{8,55}{0,55 \cdot 34,63} = 0,45 \text{ Нм}$$

Для визначення моменту, що розвивається двигуном при пуску та гальмуванні, виконаємо зведення моментів інерції обертових та мас, що рухаються лінійно, до валу двигуна. Зведення виконуємо на підставі закону збереження енергії:

$$J = m \frac{v^2}{\omega^2}$$

де  $v_T$  – лінійна швидкість руху талі, м/с;  $\omega$  - кутова частота обертання двигуна, рад/с.

Кутову частоту обертання валу двигуна визначимо як:

$$\omega = \frac{2v_T}{D_K} i_p = \frac{2 \times 0,33}{0,16} \times 34,63 = 142,8 \text{ рад/с}$$

Визначимо зведений до валу двигуна момент інерції талі з вантажем:

$$J_{ТГ} = (m_T + m_{Г}) \frac{v_T^2}{\omega^2} = \frac{5830 \cdot 0,33^2}{142,8^2} = 0,031 \text{ кгм}^2$$

зведений до валу двигуна момент інерції талі без вантажу:

$$J_{ТП} = m_T \frac{v_T^2}{\omega^2} = \frac{830 \cdot 0,33^2}{142,8^2} = 0,0044 \text{ кгм}^2$$

Для проведення розрахунків і перевірки двигуна за методом еквівалентного моменту попередньо визначимо потужність двигуна. Потужність будемо визначати виходячи з того, що двигуну необхідно розігнати вагу талі з

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						16

вантажем з максимально припустимим прискоренням і момент при цьому не повинен перевищувати  $1,5 M_H$  (півтора номінальних моменту,  $K_M = 1,5$ ). За табл. 1.4 [3] знаходимо, що для талів лінійне прискорення повинно бути не більше  $a_T = 0,2 \text{ м/с}^2$ .

Статична потужність дорівнює:

$$P_{CT} = \frac{[W_{мп1} + (m_T + m_{Г}) a_T] v_T}{\eta K_M} = \frac{[625,54 + (5000 + 830) \times 0,2] \times 0,33}{0,95 \times 1,5} = 414,9 \text{ Вт}$$

Складова  $(m_T + m_{Г}) a_T$  визначає силу, необхідну для розгону зазначеної ваги з заданим прискоренням.

За розрахунковими значеннями статичної потужності та кутової частоти обертання за [6] вибираємо асинхронний короткозамкнений двигун типу АИР71А4ЕУ3 з вбудованим електромагнітним гальмом потужністю 0,55 кВт та синхронною швидкістю обертання 1500 об/хв. Дані двигуна наведені в табл. 2.1.

Визначимо сумарні моменти інерції при переміщенні талі.

Сумарний момент інерції при переміщенні талі з вантажем дорівнює:

$$J_{\Sigma 1} = 1,2 J_D + J_{ТГ} = 1,2 \times 0,0013 + 0,031 = 0,033 \text{ кгм}^2$$

Сумарний момент інерції при переміщенні талі без вантажу дорівнює:

$$J_{\Sigma 2} = 1,2 J_D + J_{ТП} = 1,2 \cdot 0,0013 + 0,0044 = 0,006 \text{ кгм}^2$$

де  $J_D$  – момент інерції двигуна (табл. 2.1) . Коефіцієнт 1,2 враховує збільшення моменту інерції за рахунок інших елементів кінематичної схеми (колеса, елементи редуктора).

Визначимо деякі номінальні дані вибраного двигуна.

Номінальна швидкість обертання двигуна  $n_H$  дорівнює, об/хв:

$$n_H = n_C (1 - s_H) = 1500 \times (1 - 0,073) = 1390 \text{ об/хв.}$$

Номінальна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \times n_H}{30} = \frac{3,1415 \times 1390}{30} = 145,6 \text{ рад/с.}$$

Підп. і дата						ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
							17
Інв. № дубл.							
Зам. Інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.							
	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		

Номінальний момент двигуна визначимо за формулою:

$$M_H = \frac{9,55 \cdot P_H}{n_C \cdot (1 - s_H)} = \frac{9,55 \times 550}{1500 \times (1 - 0,073)} = 3,77 \text{ Нм}$$

де  $P_H$  – номінальна потужність електродвигуна; Вт;  $n_C$  – синхронна швидкість поля статора, об/хв;  $s_H$  – номінальне ковзання електродвигуна.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані асинхронного двигуна

Тип двигуна	АИР71А4ЕУ
Номінальна потужність $P_H$ , кВт	0,55
Номінальна фазна напруга $U_{\phi H}$ , В	220
Номінальний ККД $\eta_H$	0,705
Номінальний $\cos \varphi_H$	0,7
Момент інерції $J$ , кг*м <sup>2</sup>	0,0013
Число пар полюсів $Z_p$	2
Номінальне ковзання $s_H$	0,073
Критичне ковзання $s_K$	0,38
Кратність пускового моменту $M_{II}^*$ , в.о.	2,0
Кратність максимального моменту $M_{KP}^*$ , в.о.	2,2
Параметри схеми заміщення у відносних одиницях	
Активний опір статора $R_S^*$ , в.о.	0,13
Зведений активний опір ротора $R_r^*$ , в.о.	0,11
Індуктивний опір статора $X_S^*$ , в.о.	0,086
Зведений індуктивний опір ротора $X_r^*$ , в.о.	0,2
Індуктивний опір повітряного зазору $X_{\mu}^*$ , в.о.	1,6

Момент, що розвиває двигун при розгоні талі з вантажем, визначимо як:

$$M_{ДРГ} = J_{\Sigma 1} \times \frac{d\omega}{dt} + M_{СП1} = J_{\Sigma 1} \times \frac{\omega_K - \omega_{НАЧ}}{\Delta t} + M_{СП1},$$

де  $\omega_K$  – кінцева або задана швидкість руху талі;

$\omega_{НАЧ}$  – початкова швидкість руху талі;

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

18

$\Delta t$  – час, за який привод розженеться від початкової швидкості до заданої.

Час  $\Delta t$  визначає величину прискорення, що розвиває двигун і відповідно таль.

За табл. 1 лінійна швидкість переміщення талі, що відповідає номінальній швидкості двигуна, дорівнює  $V_T = 20$  м/хв або  $V_T = 0,33$  м/с. Виходячи з наведених значень визначимо мінімально припустимий час прискорення:

$$\Delta t_{МИН} = \frac{V_T}{a_T} = \frac{0,33}{0,2} = 1,65 \text{ с.}$$

Початкова швидкість талі відповідає  $\omega_{НАЧ} = 0$ , а кінцева дорівнює номінальній частоті обертання двигуна  $\omega_H$ .

Момент двигуна при розгоні талі з вантажем дорівнює:

$$M_{ДРТ} = 0,033 \times \frac{145,6}{1,65} + 1,82 = 4,73 \text{ Нм}$$

Момент двигуна при гальмуванні талі з вантажем:

$$M_{ДТГ} = J_{\Sigma 1} \times \frac{-(\omega_K - \omega_{НАЧ})}{\Delta t} + M_{СП1} = 0,033 \times \frac{-145,6}{1,65} + 1,82 = -1,09 \text{ Нм}$$

Аналогічно, момент двигуна при розгоні талі без вантажу:

$$M_{ДРТ} = J_{\Sigma 2} \times \frac{\omega_K - \omega_{НАЧ}}{\Delta t} + M_{СП2} = 0,006 \times \frac{145,6}{1,65} + 0,45 = 0,98 \text{ Нм}$$

Момент двигуна при гальмуванні талі без вантажу:

$$M_{ДТГ} = J_{\Sigma 2} \times \frac{-(\omega_K - \omega_{НАЧ})}{\Delta t} + M_{СП2} = 0,006 \times \frac{-145,6}{1,65} + 0,45 = -0,08 \text{ Нм}$$

Час робочого циклу електроприводу переміщення визначитися відповідно до виразу:

$$T_u = 2t_p + 2t_m + 2t_y + 2t_n,$$

де  $t_p$  – час розгону приводу під час руху в обидві сторони,  $t_m$  – час гальмування відповідно,  $t_n$  – час паузи, рівний часу витраченому на спуск і підйом гака,  $t_y$  – час роботи зі сталою швидкістю.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

19

Тривалість підйому і спуску визначимо за формулою:

$$t_{\Pi} = \frac{h}{V} = \frac{19 \cdot 60}{8} = 67,50 \text{ с,}$$

де  $h$  – висота підйому, м,  $V$  – швидкість, м/хв (за табл. 1).

Час роботи привода на усталеній швидкості:

$$t_y = \frac{L_B - L_p - L_m}{V_T} = (L_B - \frac{a t_p^2}{2} - \frac{a t_m^2}{2}) / V_T$$

$$t_y = (10 - \frac{0,2 \times 1,65^2}{2} - \frac{0,2 \times 1,65^2}{2}) \frac{1}{0,33} = (10 - 0,272 - 0,272) \frac{1}{0,33} = 28,65 \text{ с,}$$

де  $L_B$  – ширина площадки, що обслуговується,  $L_p$  – шлях, що пройшла таль при розгоні,  $L_m$  – шлях, що пройшла таль при гальмуванні.

Час робочого циклу дорівнює:

$$T_{\text{ц}} = 2 \times 1,65 + 2 \times 1,65 + 2 \times 28,65 + 2 \times 67,5 = 198,9 \text{ с}$$

Час роботи електроприводу за цикл:

$$T_{\text{раб}} = 2t_p + 2t_m + 2t_y = 2 \times 1,65 + 2 \times 1,65 + 2 \times 28,65 = 63,9 \text{ с}$$

Тривалість вмикання електроприводу за робочий цикл:

$$\text{ПВ} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{ц}}} \times 100\% = \frac{63,9}{198,9} \times 100\% = 32,12\%$$

ПВ для двигунів електричних талів встановлюється стандартами на рівні  $\text{ПВ}_D = 25\%$  (повторно-короткочасний режим роботи). Розрахунок еквівалентного моменту  $M_{\text{э}}$  виконаємо з урахуванням зведення ПВ робочого циклу до стандартного  $\text{ПВ}_D$  двигуна за [5]:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{T_{\text{раб}}} \frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_D}}$$

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{t_p (M_{\text{ДРГ}}^2 + M_{\text{ДРТ}}^2) + t_m (M_{\text{ДТГ}}^2 + M_{\text{ДТТ}}^2) + t_y (M_{\text{СП1}}^2 + M_{\text{Сн2}}^2)}{T_{\text{раб}}} \frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_D}}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

20

$$M_{\mathcal{D}} = \sqrt{\frac{1,65 \times (4,73^2 + 0,98^2) + 1,65 \times (1,09^2 + 0,08^2) + 57,3(1,82^2 + 0,45^2)}{198,9}} \times \dots$$

$$\times \frac{32,12}{25} = 1,25 \text{ Нм}$$

Еквівалентна потужність двигуна:

$$P_{\mathcal{D}} = M_{\mathcal{D}} \cdot \omega_H \cdot k_3 = 1,25 \times 145,6 \times 1,3 = 236,58 \text{ Вт},$$

де  $k_3 = 1,3$  – коефіцієнт, що враховує відміну навантажувальної діаграми механізму від навантажувальної діаграми двигуна.

Отримане значення еквівалентного моменту менше номінального моменту вибраного двигуна. Значить вибраний двигун підходить:

$$M_{DH} > M_{\mathcal{D}}, 3,77 \text{ Нм} > 1,25 \text{ Нм}$$

На рис. 2.1 представлена навантажувальна діаграма механізму переміщення талі.

Розрахуємо необхідні параметри двигуна для побудови системи керування.

Номінальний фазний струм статора:

$$I_{\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{550}{3 \cdot 220 \cdot 0,705 \cdot 0,7} = 1,69 \text{ А},$$

де  $U_{\phi n}$  – номінальна фазна напруга двигуна;  $\eta_n$  – номінальний ККД двигуна;  $\cos \varphi_n$  – номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

Для переводу опорів з відносних одиниць в абсолютні скористаємося виразом:

$$Z = Z^* \times Z_B = Z^* \times \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$$

де  $Z_B = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$  – базовий опір; Ом;  $Z^*$  – опір у відносних одиницях;  $Z$  – шуканий опір, Ом.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						21

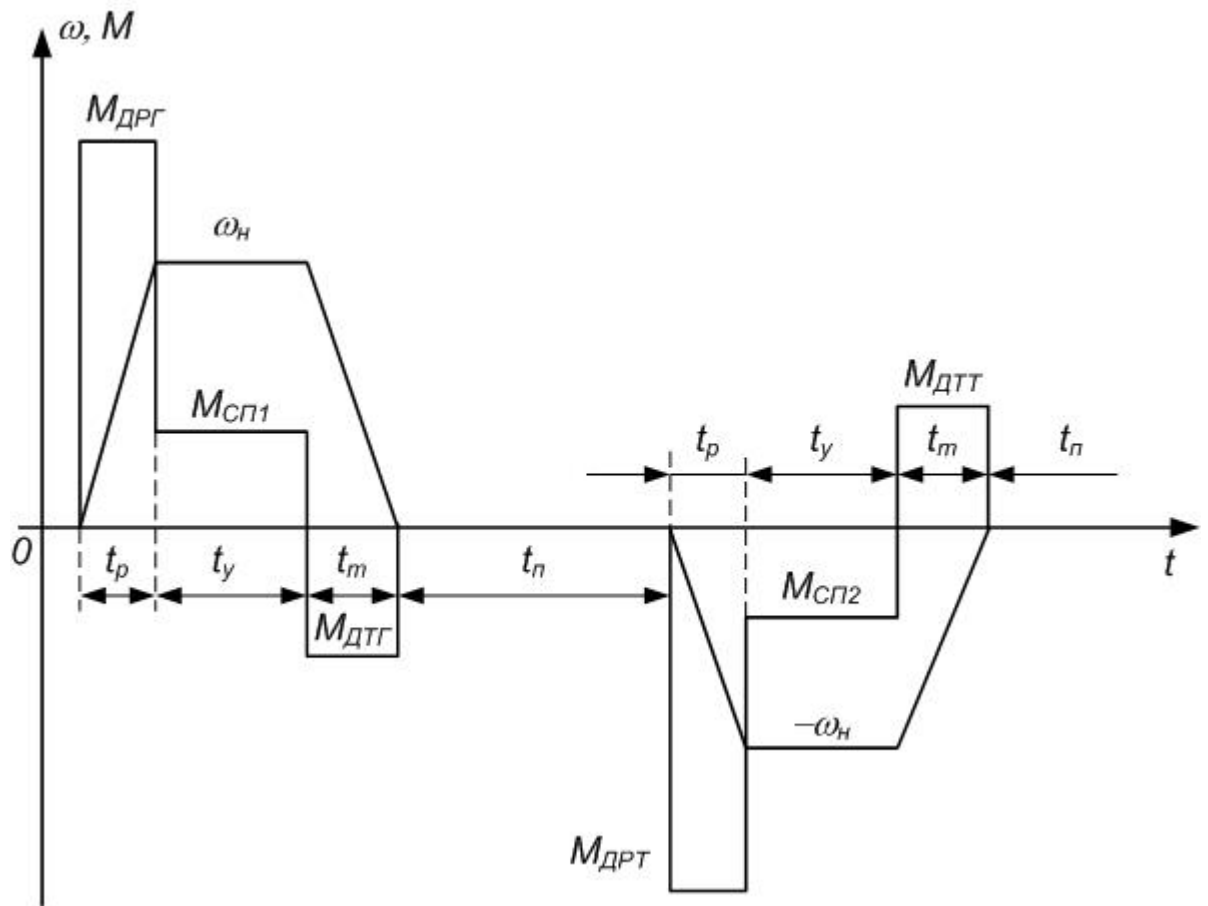


Рисунок 2.1 - Навантажувальна діаграма механізму переміщення талі.

Визначимо базовий опір:

$$Z_B = \frac{U_{\Phi H}}{I_{\Phi H}} = \frac{220}{1,69} = 130,18 \text{ Ом}$$

Активний опір статора:

$$R_S = 0,13 \times 130,18 = 16,92 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора:

$$R_r = 0,11 \times 130,18 = 14,32 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_S = 0,086 \times 130,18 = 11,2 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір ротора:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

22



$$X_r = 0,2 \times 130,18 = 26,04 \text{ Ом,}$$

Індуктивний опір кола намагнічування:

$$X_\mu = 1,6 \times 130,18 = 208,29 \text{ Ом,}$$

Індуктивний опір короткого замикання:

$$X_K = X_S + X_r = 11,2 + 26,04 = 37,24 \text{ Ом.}$$

Частота живлячої мережі:

$$\omega_0 = 2 \pi f = 2 \pi \times 50 = 314,159 \text{ с}^{-1}$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{s\sigma} = X_S / \omega_0 = 11,2 / 314,159 = 0,035,$$

де  $\omega_0 = 2 \pi f$  – кутова частота живлячої мережі, рад/с;  $f = 50 \text{ Гц}$  – номінальна частота живлячої мережі.

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{r\sigma} = X_r / \omega_0 = 26,04 / 314,159 = 0,083 \text{ Гн.}$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора и ротора:

$$L_m = X_\mu / \omega_0 = 115,78 / 314,159 = 0,663 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки статора:

$$L_{1s} = L_{s\sigma} + L_m = 0,035 + 0,663 = 0,698 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки ротора:

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 0,083 + 0,663 = 0,746 \text{ Гн.}$$

Розраховані параметри двигуна та абсолютні значення параметрів схеми заміщення зведені до табл. 2.2

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

23

Таблиця 2.2 – Параметри двигуна 4А80В6У3

Активний опір статора $R_s$ , Ом	16,92
Зведений активний опір ротора $R_r$ , Ом	14,32
Індуктивність обмотки статора $L_s$ , Гн	0,698
Індуктивність обмотки ротора $L_r$ , Гн	0,746
Індуктивність намагнічування $L_m$ , Гн	0,663
Номинальний момент $M_n$ , Нм	3,77
Номинальний фазний струм $I_{\phi n}$ , А	1,69
Номинальна частота обертання $\omega_n$ , рад/с	145,6

Як показує аналіз літератури [10, 12, 13] регулювання моменту та швидкості асинхронного двигуна забезпечують системи векторного керування координатами електропривода, побудовані за принципами підлеглого керування. Побудова векторної системи керування можлива, якщо асинхронний двигун представити у обертовій системі координат, що пов'язана з потокозчепленням ротора.

### 2.3 Модель асинхронного короткозамкненого двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора

Рівняння асинхронної машини, записані у термінах узагальненого вектора і представлені в координатній системі, що обертається зі  $\omega_c$ , мають вид [9, 14]:

$$\bar{U}_s = \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

$$\bar{U}_r = \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega)\bar{\Psi}_r.$$

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m,$$

$$\bar{\Psi}_r = \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r,$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

24

де  $\bar{U}_s, \bar{I}_s, \bar{\Psi}_s$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;  $\bar{U}_r, \bar{I}_r, \bar{\Psi}_r$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення ротора;  $R_s, R_r$  – активні опори статора і ротора;  $\omega_c$  – швидкість обертання системи координат;  $\omega$  – швидкість обертання ротора;  $L_s, L_r, L_m$  – індуктивність статора, ротора і взаємна індуктивність статора і ротора відповідно;  $j = \sqrt{-1}$ .

Для виводу рівнянь, за якими будується структурна схема асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, використаємо систему координат  $u, v$ , яка обертається з синхронної швидкістю  $\omega_c$  та орієнтована за вектором потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_r$ . Вісь  $u$  є дійсною віссю, а вісь  $v$  – уявною.

З двох останніх рівнянь системи виразимо вектори потокозчеплення статора  $\bar{\Psi}_s$  та струму ротора  $\bar{I}_r$ :

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s \left( \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r} \right) + \bar{\Psi}_r \frac{L_m}{L_r} = \bar{I}_s L'_s + K_r \bar{\Psi}_r,$$

$$\bar{I}_r = K_r \left( \frac{\bar{\Psi}_r}{L_m} - \bar{I}_s \right),$$

де  $K_r = \frac{L_m}{L_r}$  – коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора;  $L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$

– перехідна індуктивність статора [14].

Виконуючи ряд подальших перетворень, представлених в [14] отримаємо дві системи рівнянь, що описують асинхронний двигун в координатній системі  $u, v$ :

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{ru} &= \frac{U_{ru} T_r + I_{su} L_m}{1 + p T_r} \\ \omega_c &= \omega + \frac{U_{rv} + K_r R_r I_{sv}}{\Psi_{ru}} \end{aligned} \right\}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ					Арх
										25
					Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	

$$\left. \begin{aligned} U_{su} - K_r U_{ru} &= I_{su} R' (1 + pT'_s) - \omega_c L'_s I_{sv} - \frac{K_r}{T_r} \Psi_{ru} \\ U_{sv} - K_r U_{rv} &= I_{sv} R' (1 + pT'_s) + \omega_c L'_s I_{su} + \omega K_r \Psi_{ru} \end{aligned} \right\},$$

де  $T_r = \frac{L_r}{R_r}$  – стала часу ротора;  $T'_s = \frac{L'_s}{R'}$  – перехідна стала часу статора [9],

$p = \frac{d}{dt}$  – оператор Лапласа, де  $R' = R_s + K_r^2 R_r$  – перехідний опір статора [9].

Рівняння електромагнітного моменту двигуна:

$$M = \frac{3}{2} Z_p K_r \Psi_{ru} I_{sv},$$

де  $Z_p$  – число пар полюсів двигуна.

Рівняння руху системи:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_c,$$

де  $J$  – момент інерції двигуна (або сумарний момент інерції системи, зведений до валу двигуна);  $M_c$  – статичний момент на валу двигуна,  $\omega_m$  – механічна швидкість обертання ротора.

На рис. 2.2 представлена структурна схема АД з короткозамкнутим ротором, побудована за отриманими виразами системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_r$ .

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
											26

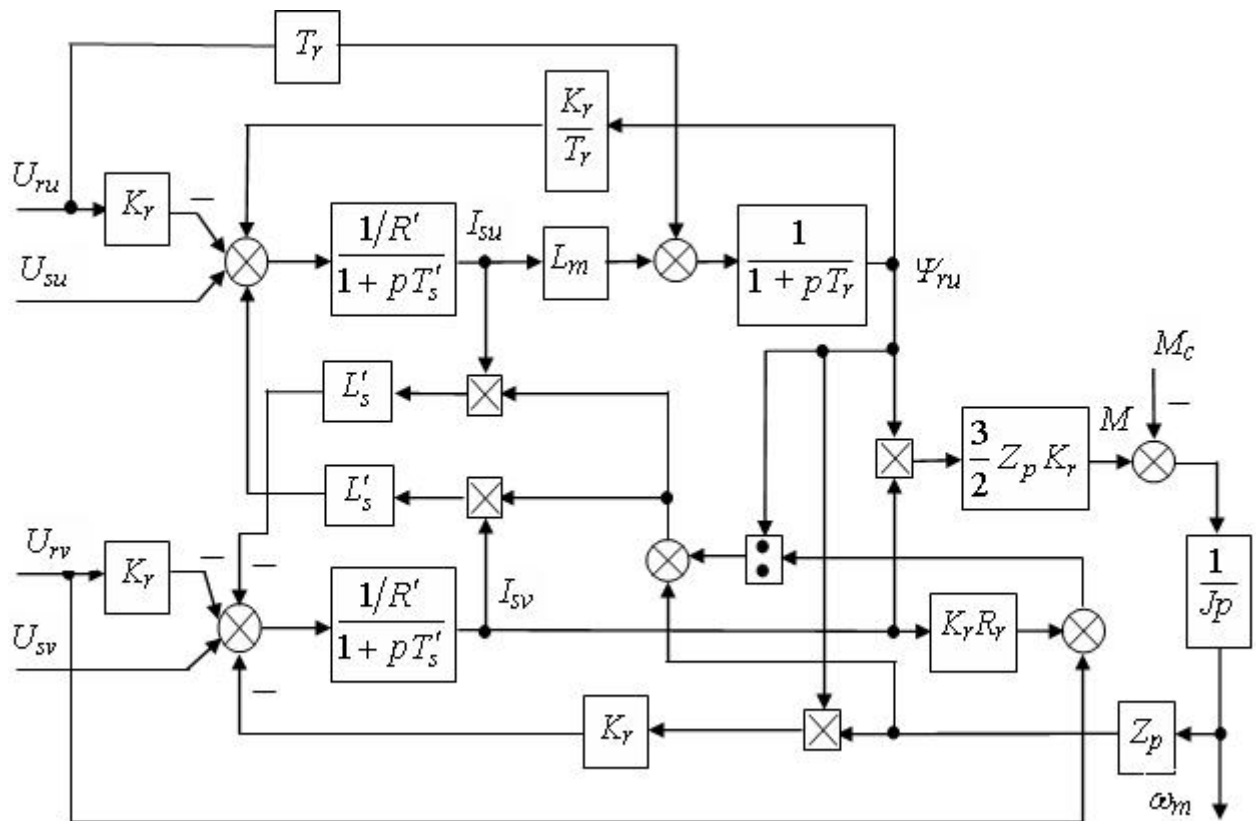


Рисунок 2.2 – Структурна схема АД в системі координат, зв'язаній з вектором потокозчеплення ротора  $\Psi_r$

## 2.4 Синтез системи регулювання швидкості асинхронного двигуна

Всі сучасні системи регулювання швидкості електродвигунів будуються за принципами підлеглого регулювання координат електропривода і характеризуються каскадним розташуванням регуляторів. Кількість регуляторів визначається кількістю регульованих координат (швидкість, струм, момент, положення і т.і.) [5, 10,].

На вході регулятора кожного з контурів порівнюються сигнали, пропорційні заданому та дійсному значенню координати контуру, а вихідна напруга регулятора є сигналом завдання для наступного контуру.

Однією з переваг системи є можливість доволі просто обмежувати регульовану координату шляхом обмеження сигналу завдання з виходу

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	
Зм.	
Арк..	
№ докум.	
Підп.	
Дата	
ЕП.ДП.19.07.ПЗ	
Арк	
27	

попереднього регулятора. Серед недоліків – зниження швидкодії системі з кожним новим контуром вдвічі.

Синтез регуляторів системи здійснюється з середини, від внутрішнього регулятора до зовнішнього. Серед критеріїв оптимізації регуляторів використовують в основному модульний та симетричний критерії оптимізації. Вибір критерію залежить від типу передавальних функцій, що входять до складу контуру, та бажаної перехідної функції контуру.

Структурна схема системи автоматичного регулювання (САР) швидкості АД представлена на рис. 2.3.

САР має два канали регулювання. Канал регулювання потокозчеплення ротора складається з контуру потокозчеплення і підлеглого йому контуру потокоутворюючої складової струму статора (складова  $I_{su}$  за віссю  $u$ ). Канал регулювання швидкості складається з контуру швидкості і підлеглого йому контуру моментоутворюючої складової струму статора (складова  $I_{sv}$  за віссю  $v$ ).

До складу контурів струму зі сторони САР входять регулятор струму та перетворювач частоти ПЧ, представлений аперіодичною ланкою з малою некомпенсованою сталою часу  $T_{\mu}$ . Зовнішні контури складаються з регуляторів швидкості та потокозчеплення відповідно. Інформація о регульованих координатах поступає з датчиків струму  $ДТ$ , швидкості  $ДС$  та потокозчеплення  $Д\psi$ .

На вході контуру потоку може використовуватись функціональний блок  $\PhiБ$ , реалізуючий функціональну залежність потокозчеплення від швидкості для випадку двозонного регулювання швидкості.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата



$$L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = 0,698 - \frac{0,663^2}{0,746} = 0,109 \text{ Гн}$$

Перехідний опір статора:

$$R' = R_s + K_r^2 R'_r = 16,92 + 0,89^2 \times 14,32 = 28,26 \text{ Ом}$$

Стала часу ротора:

$$T_r = \frac{L_r}{R'_2} = \frac{0,746}{14,32} = 0,052 \text{ с}$$

Перехідна стала часу статора:

$$T'_s = \frac{L'_s}{R'} = \frac{0,109}{28,26} = 0,0039 \text{ с}$$

Коефіцієнт датчика струму розраховуємо з урахуванням подвійного перевантаження за струмом та відносно амплітудного значення фазного струму:

$$K_T = \frac{U_{y \max}}{2\sqrt{2}I_{\text{фн}}} = \frac{10}{2\sqrt{2} \times 1,69} = 2,09 \text{ В/А}$$

де  $U_{y \max}$  – максимальна робоча напруга системи керування.

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_C = \frac{U_{y \max}}{\omega_n} = \frac{10}{145,6} = 0,068 \text{ Вс/рад}$$

Номінальне потокозчеплення двигуна:

$$\Psi_n = \frac{M_n}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{фн}} \cdot Z_p \cdot K_r} = \frac{3,77}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,69 \cdot 2 \cdot 0,89} = 0,59 \text{ Вб}$$

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$K_\Psi = \frac{U_{y \max}}{\Psi_n} = \frac{10}{0,59} = 16,93 \text{ В/Вб}$$

Підп. і дата										
Інв. № дубл.										
Зам. Інв. №										
Підп. і дата										
Інв. № подл.										
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ					Арк
										30



Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_{II} = \frac{\sqrt{2}U_{\phi H}}{U_{y \max}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{10} = 31$$

### 2.4.1 Синтез регулятора струму

Замкнений контур регулювання моментоутворюючої складової струму представлений на рис. 2.4

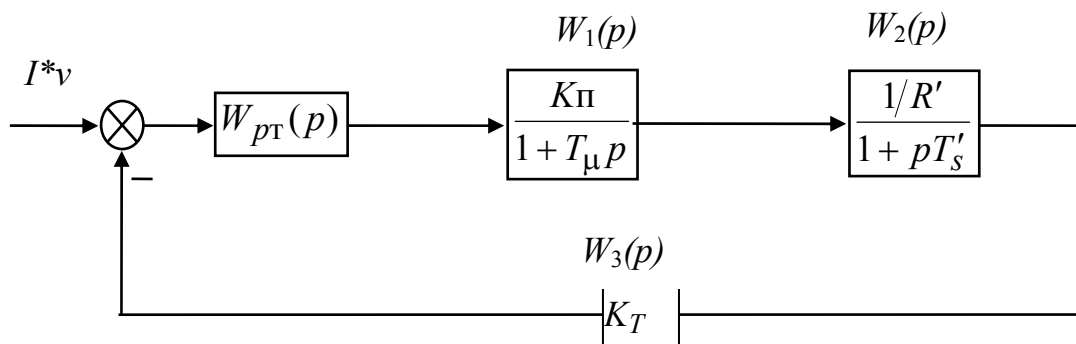


Рисунок 2.4 – Структурна схема контуру регулювання моментоутворюючої складової струму

У складі контуру дві аперіодичні ланки. При такій структурі контур оптимізується за модульним критерієм оптимізації. Передаточна функція модульного оптимуму має вид (бажана):

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu} p(T_{\mu} p + 1)}$$

Мала стала часу контуру струму включає в себе суму інерційностей в системі, виникаючих при відпрацюванні завдання. До таких затримок відносять сталі часу фільтрів вхідних сигналів струму та напруги, період дискретизації цифрової системи керування, «мертвий час» в роботі силових ключів і т.і. При синтезі регулятора струму  $T_{\mu}$  прийнято рівною  $T_{\mu} = 0,0005$  с.

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

Передаточну функцію регулятора струму визначимо з виразу:

$$W_{ж}(p) = W_{рГ}(p)W_1(p)W_2(p)W_3(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)},$$

Звідки

$$W_{pm}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} \frac{(T_{\mu}p + 1)}{K_{\Pi}} \frac{R'(1 + pT'_s)}{K_T},$$

$$W_{pm}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{R'(1 + pT'_s)}{2T_{\mu}pK_{\Pi}K_T}$$

В результаті зроблених перетворень отримано ПІ-регулятор струму з такими коефіцієнтами:

$$W_{pm}(p) = \frac{R'T'_s}{2T_{\mu}K_{\Pi}K_T} + \frac{R'}{2T_{\mu}pK_{\Pi}K_T} = \frac{28,26 \cdot 0,0039}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 2,09} + \frac{28,26}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 2,09}$$

$$W_{pm}(p) = k_{pmn} + k_{pmi} \frac{1}{p} = 1,7 + 436,17 \frac{1}{p}$$

Замкнений контур регулювання потокоутворюючої складової струму аналогічний контуру моментоутворюючої складової струму і має такі ж самі характеристики.

#### 2.4.2 Синтез регулятора потокозчеплення ротора

При синтезі передаточної функції регулятора потокозчеплення передаточну функцію замкненого контуру струму подамо у вигляді:

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_{\mu}p + 1},$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

де  $K_T$  – коефіцієнт передачі датчика струму,  $T_\mu$  – мала некомпенсована стала часу.

Синтез регулятора потокозчеплення здійснюємо аналогічно синтезу регулятора струму. Структурна схема контуру регулювання потокозчеплення ротора має вид (рис. 2.5):

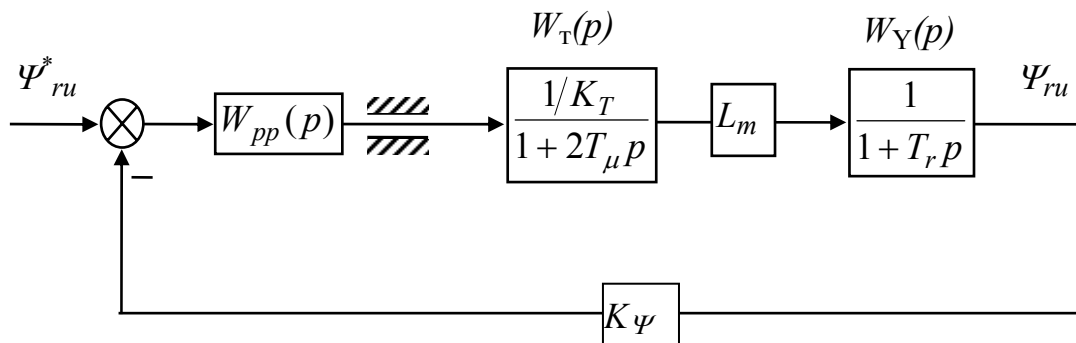


Рисунок 2.5 – Структурна схема контуру регулювання потокозчеплення ротора

Для отримання передаточної функції регулятора потокозчеплення скористаємося модульним критерієм оптимізації, який для контуру потокозчеплення має вид [5, 14]:

$$W_{mod}(p) = \frac{1}{4T_\mu p(2T_\mu p + 1)}$$

Отримана передаточна функція ПІ-регулятора потокозчеплення відповідає виразу:

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\psi}$$

Визначимо коефіцієнти регулятора:

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\psi p} = \frac{K_T T_r}{4T_\mu L_m K_\psi} + \frac{K_T}{4T_\mu L_m K_\psi} \frac{1}{p}$$

Підп. і дата	
Інв. № зубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

$$W_{pp}(p) = \frac{2,09 \cdot 0,052}{4 \cdot 0,0005 \cdot 16,93 \cdot 0,663} + \frac{2,09}{4 \cdot 0,0005 \cdot 16,93 \cdot 0,663} \frac{1}{p} = 4,84 + 93,1 \frac{1}{p}$$

### 2.4.3. Синтез регулятора швидкості

При синтезі передаточної функції регулятора швидкості передаточна функція замкнутого контуру струму має вид:

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_\mu p + 1},$$

Контур регулювання швидкості зображено на рис. 2.6. Контур складається з аперіодичної та інтегральної ланки. Для отримання передаточної функції ПІ-регулятора швидкості (астатична система) скористуємося симетричним критерієм оптимізації, передаточна функція якого має вид [5, 14]:

$$W_{sop}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{32T_\mu^2 p^2 (2T_\mu p + 1)}$$

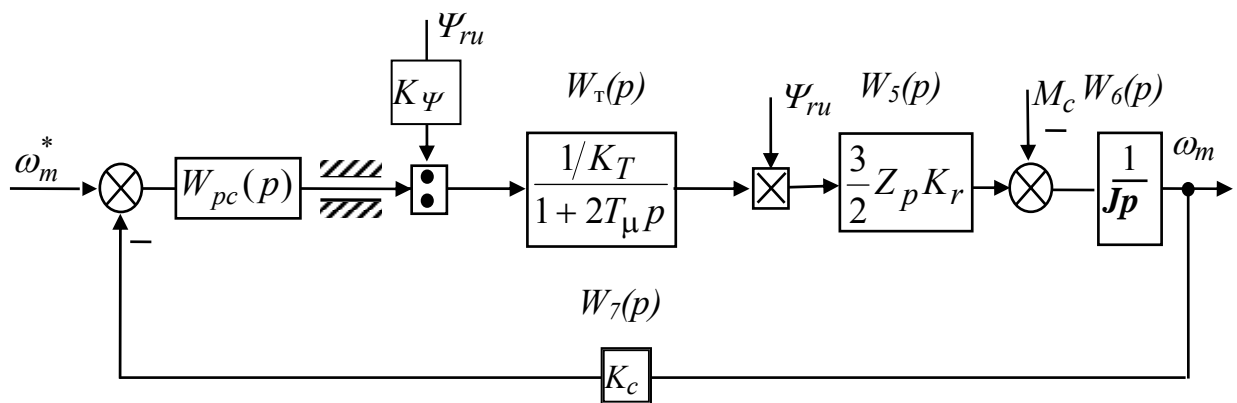


Рисунок 2.6 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

Прирівняв добуток всіх ланок розімкненого контуру швидкості до передаточної функції симетричного оптимуму, знайдемо передаточну функцію ПІ-регулятора швидкості:

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

$$W_{ж}(p) = W_{рс}(p)W_T(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p) = \frac{(8T_{\mu}p + 1)}{32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p + 1)},$$

Звідки

$$W_{рс}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{(8T_{\mu}p + 1)}{32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p + 1)} \frac{(2T_{\mu}p + 1)K_T JK_{III} 2}{Z_p K_r K_c p^3},$$

$$W_{рс}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{J_{N1} K_T (8T_{\mu}p + 1) K_{III}}{48T_{\mu}^2 p Z_p K_r K_c},$$

$$W_{рс}(p) = \frac{J_{N1} K_T 8T_{\mu} K_{III}}{48T_{\mu}^2 Z_p K_r K_c} + \frac{J_{N1} K_T K_{III}}{48T_{\mu}^2 Z_p K_r K_c} \frac{1}{p}.$$

При розрахунку коефіцієнтів регулятора швидкості необхідно пам'ятати, що при роботі тельфера моменти інерції можуть змінюватись. Тому для збереження стійкості системи настройку регулятора будемо виконувати при меншому значенні моменту інерції (при відсутності вантажу). Це дозволить контурному коефіцієнту не збільшуватись, але система збереже стійкість, хоча дещо втратить в швидкодії при великих моментах інерції (з вантажем).

$$W_{рс}(p) = \frac{0,0059 \cdot 2,09 \cdot 8 \cdot 0,0005 \cdot 16,93}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 2 \cdot 0,068 \cdot 0,89} + \frac{0,0059 \cdot 2,09 \cdot 16,93}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 2 \cdot 0,068 \cdot 0,89} \frac{1}{p}$$

$$W_{рс}(p) = 574,91 + 143729,23 \frac{1}{p}.$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

## 2.5 Вибір комплектного перетворювача частоти і додаatkового устаткування

Для живлення двигуна вибираємо перетворювач частоти серії АЛТИВАР 320 компанії Schneider Electric

Даний перетворювач має ряд переваг, а саме:

- просте та зручне меню для налаштувань, як за допомогою графічного терміналу, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;
- широкий діапазон потужностей;
- набір спеціалізованих прикладних функцій;
- наявність зручних інструкцій з експлуатації та рекомендацій з використання.

По даними двигуна(за номінальним струмом та напругою) з [15] вибираємо перетворювач частоти з наступними характеристиками (табл. 2.3), а також додаткове обладнання:

Таблиця 2.3 - Номінальні дані перетворювача частоти сери  
АЛТИВАР 320

Тип ПЧ	ATV320U06N4C
Номінальна напруга $U_{ПЧ}$ , В	380-480
Максимальний вихідний струм в усталеному режимі (при 380 В), А	1,9
Максимальний вихідний струм протягом 60 с, А	2,9
Вхідний мережений струм, А	2,8
Повна потужність (при 380 В), кВА	1,9
Перевантажувальна здатність за моментом 60 с (2 с), %	150 (180)
Дросель мережевий	VW3A4551
Вимикач автоматичний	GV2L08
Гальмівний резистор, 100 Ом, P = 50 Вт	VW3A7701

Підп. і дата						
	Інв. № дубл.					
Зам. Інв. №						
	Підп. і дата					
Інв. № подл.						
	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ











Инв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Инв. №	Инв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

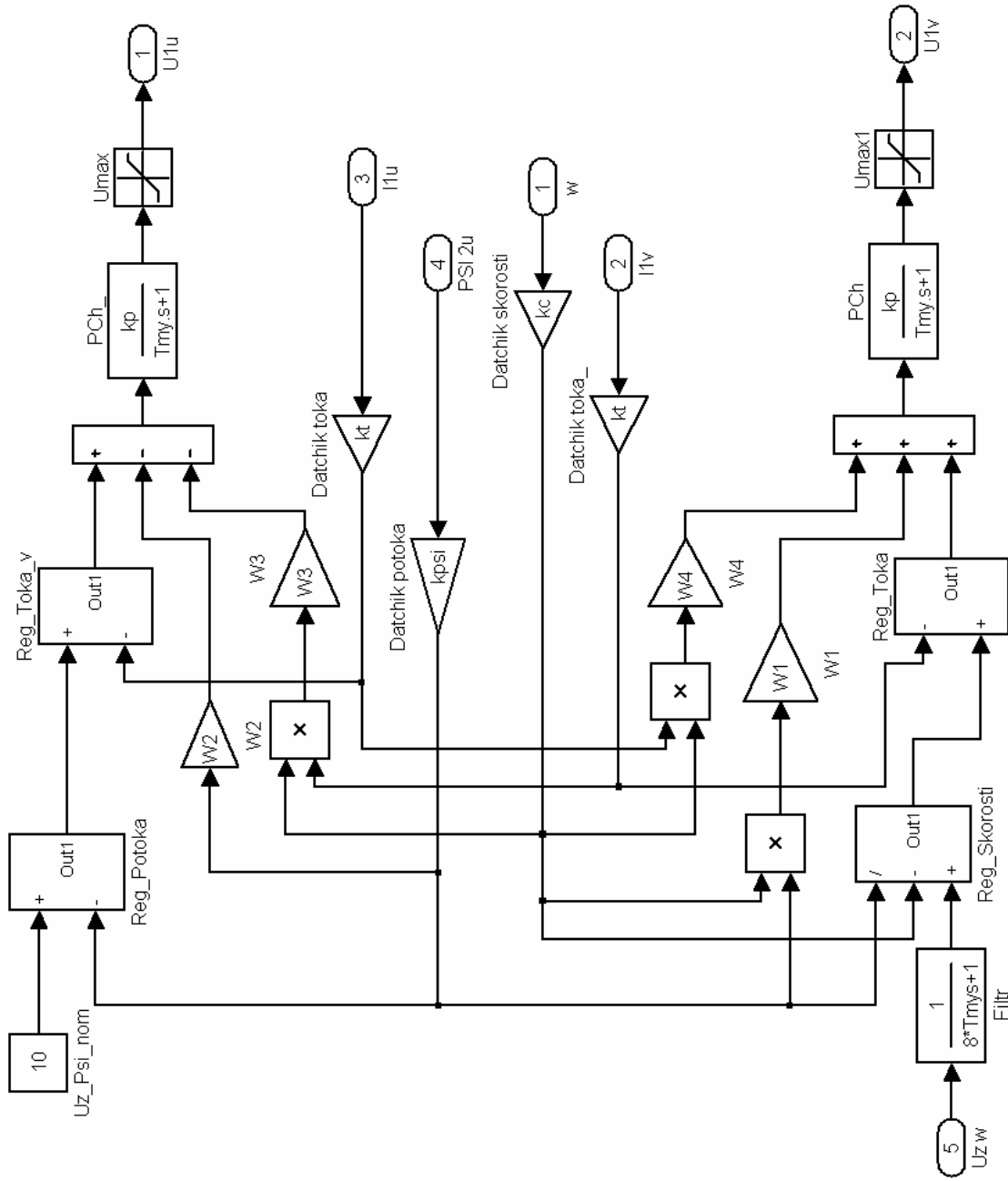


Рисунок 3.3 – Схема моделі САР швидкості в пакеті МАТЛАБ. Підсистема Control System.

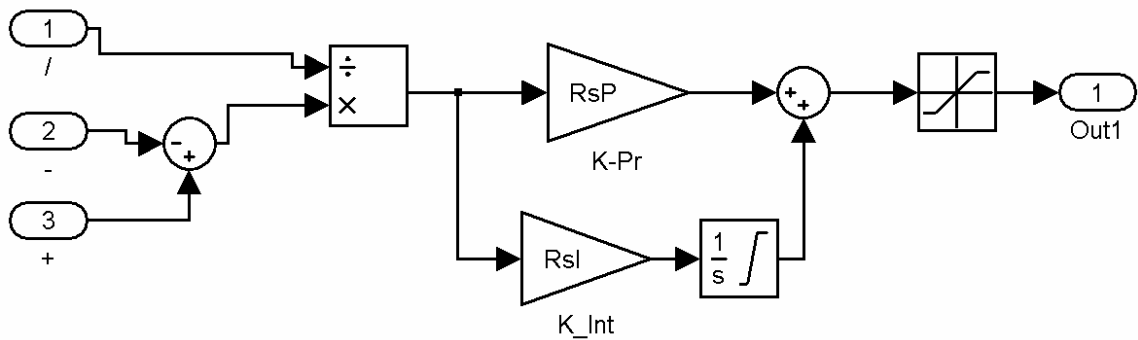


Рисунок 3.4 – Модель регулятора швидкості

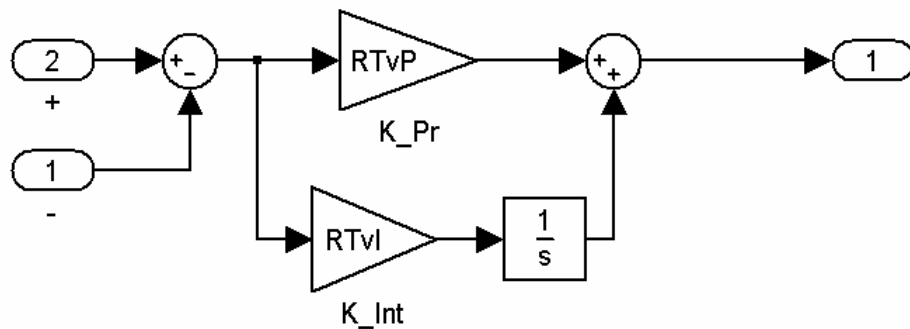


Рисунок 3.5 – Модель регулятора струму

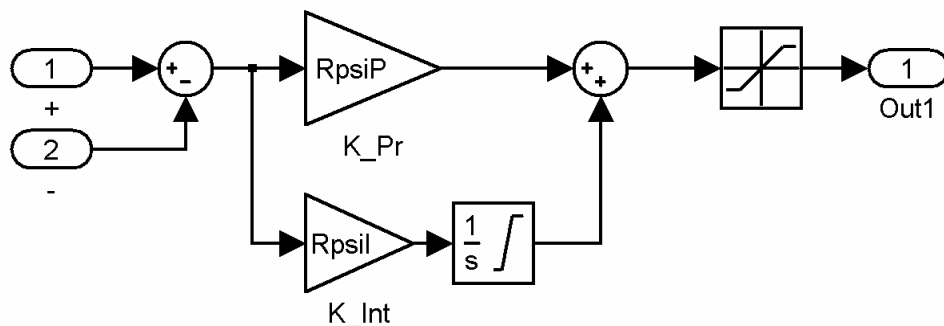


Рисунок 3.6 – Модель регулятора потокозчеплення

Результати моделювання роботи електроприводу переміщення талі представлені на рис. 3.7. та рис. 3.8. На графіках представлені сигнали швидкості двигуна (вихід датчика швидкості)  $\omega$ , потокоутворюючого  $I_u$  і моментоутворюючого  $I_v$  струмів, моменту двигуна  $M_{dv}$ , статичного моменту навантаження  $M_c$  і потокозчеплення ротора  $\Psi$ .

На початковому етапі роботи здійснюється намагнічування двигуна. САР

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------



№ в. № подл.	Підп. і дата	Зам. № в. №	№ в. № дубл.	Підп. і дата

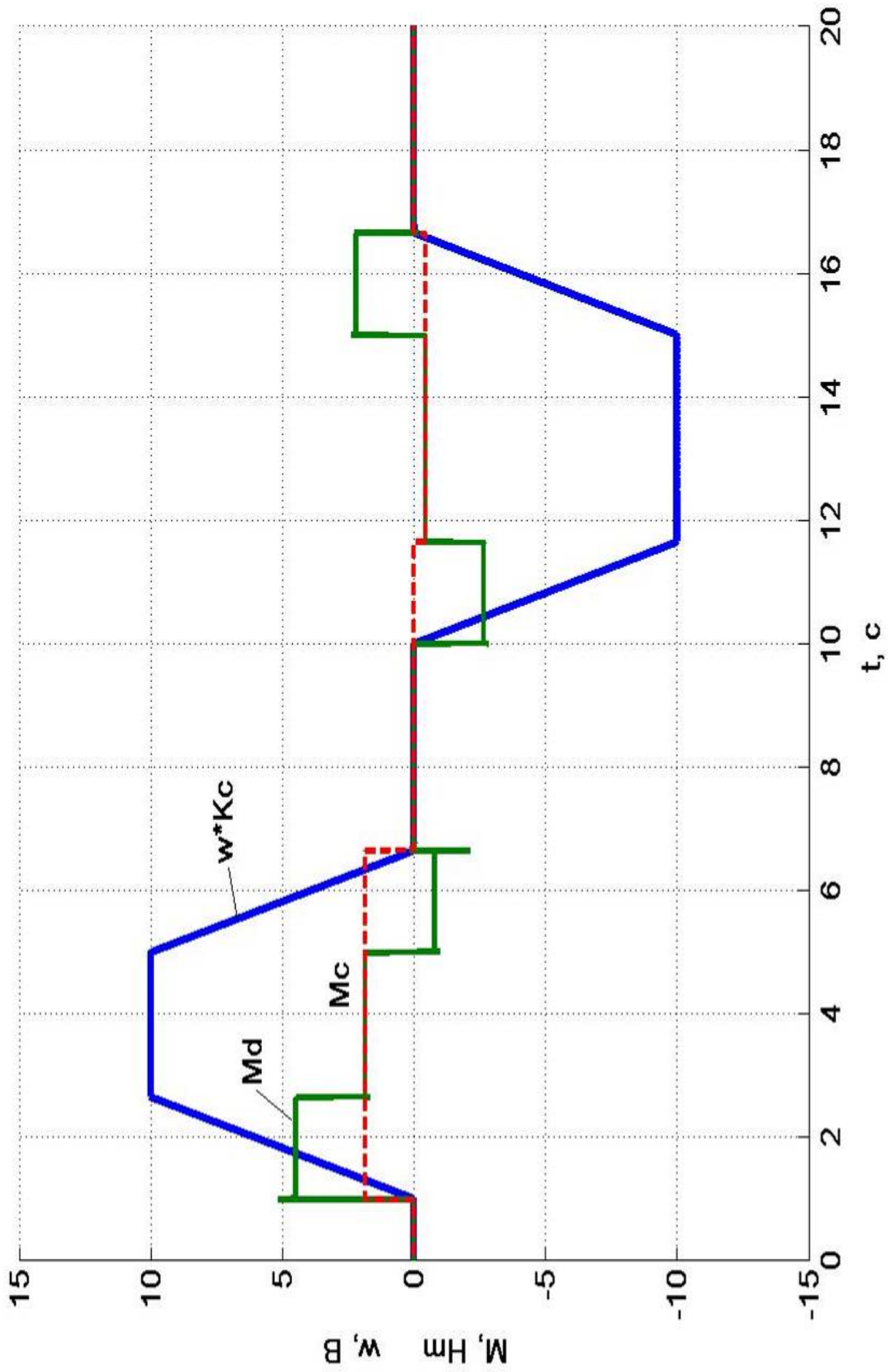


Рисунок 3.8 – Графіки перехідних процесів

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Инв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Инв. №	Инв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

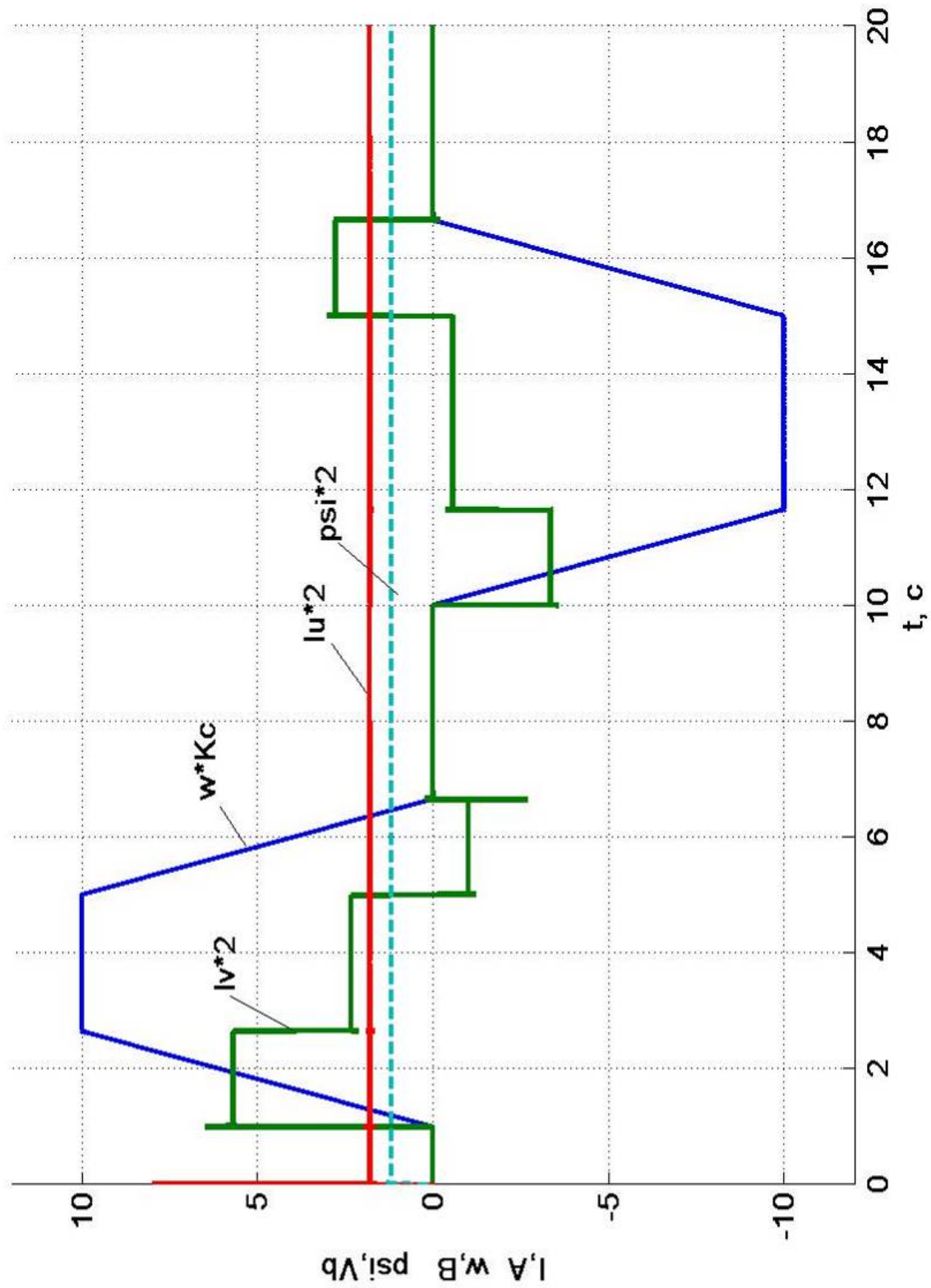


Рисунок 3.8 – Графіки перехідних процесів





При використанні електротельферів з механізмом пересування в двох кінцях рейкової доріжки необхідно ставити буфери, в які б упиралися боковини візка.

При експлуатації талі гальма повинні бути в діючому стані.

Перед підйомом вантажу необхідно попередньо підняти його на висоту 200-300 мм для перевірки справності механізму підйому і гальм.

Підйом і спуск вантажу заборонено робити, якщо під ним знаходяться люди.

Після закінчення роботи або під час перерви вантаж не повинен залишатися в піднятому стані.

Забороняється піднімати вантаж масою, що перевищує номінальну вантажопідйомність механізму.

Забороняється вирівнювання вантажу у висячому положенні.

Забороняється проводити ремонт механізму при піднятому вантажі.

При експлуатації талі забороняється використовувати її для підйому людей.

### 4.3 Розробка заходів з електробезпеки

До обслуговування електроустаткування напругою до 1000В допускаються спеціально навчений технічний персонал, що має допуск до обслуговування електроустановок напругою до 1000В. Група допуску електромонтерів повинна бути не нижче III. Персонал повинен знати та виконувати діючі правила ПТЕ и ПТБ, а також будову і принципи роботи електрообладнання.

Обслуговуючий персонал повинен бути забезпечений необхідним спеціалізованим інструментом для роботи в діючих електроустановках (діелектричні рукавички, килимки або калоші та інш.). Інструмент повинен пройти чергову перевірку на цілісність ізоляції і мати відповідні підтверджуючі документи.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

47

Виконання електрообладнання повинно відповідати (електродвигунів, апаратів, шаф і т. п.) умовам навколишньої середовища.

Рекомендована напруга електродвигунів змінного та постійного струму, перетворювальних агрегатів (статичних або тих що обертаються) повинна бути не вище 1 кВ.

Електрообладнання повинно розміщатися у спеціальних шафах, в окремому місці і мати обмежений доступ.

Підключення талі повинно проводитися через автомат захисту.

Всі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під дією електричного струму повинні бути заземлені або занулені. Виконання захисних з'єднань повинно бути надійним, доступним для швидкої перевірки.

При монтажі електротельфера після ремонту знову перевірити збіг фаз і дію кінцевого вимикача відповідно до інструкції з монтажу та експлуатації.

#### 4.4 Пожежна безпека

Обслуговуючий персонал повинен пройти і мати підготовку з Правил пожежної безпеки. Знати і розуміти можливі шляхи виникнення пожеж на робочому місці. Вміти користуватись засобами пожежегасіння. Бути ознайомленим з планами ліквідації пожеж на робочому місці та правилами поведінки у разі виникнення пожежі.

Цехи з кранами повинні бути обладнані первинними засобами пожежегасіння – ящик с сухим піском та ручні вуглекислотні вогнегасники типів ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. Такі вогнегасники призначені для гасіння невеликих спалахів всіх видів.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

48

## 4.5 Розрахунок штучного освітлення

Мета даного розрахунку полягає в наступному: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

Вихідні дані: висота приміщення  $H = 10$  м, довжина приміщення  $A = 40$  м, ширина приміщення  $B = 24$  м. Цех відноситься до виробничих приміщень з повітряним простором, яке містить в робочій зоні  $1 \text{ мг/м}^3$  пилу, диму, кіптяви.

Розрахунок освітлення виконаємо методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Дане приміщення має бічні вікна, відноситься до 4 розряду із зоровою роботою - середньої точності, розмір об'єкта розрізнення більше  $0,5$  мм. При малому контрасті і темному тлі необхідна освітленість при загальному освітленні -  $100$  лк.

Як джерело світла вибираємо газорозрядні лампи. Будемо використовувати світильники з дугорозрядними лампами РСП05 / Г03.

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується за формулою:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta},$$

де:  $F$  – необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику, лм;

$E$  – нормована мінімальна освітленість, лк;

$S$  – освітлювана площа,  $\text{м}^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу (для ламп типу ДРЛ, ДРІ  $k = 1,3$ );

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості (при оптимальних відносинах відстані між світильниками до розрахункової висоті для ДРЛ  $z = 1,15$ );

$N$  – число світильників в приміщенні;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

49

Приймаються наступні значення:  $E = 100$ лк;  $k = 1,3$ ;  $z = 1,15$ , при загальному освітленні. Освітлювану площа приміщення визначимо за формулою:

$$S = A \cdot B,$$

де:  $S$  – освітлювальна площа, м<sup>2</sup>;

$A = 40$  – довжина приміщення, м;

$B = 24$  – ширина приміщення, м;

$$S = 40 \cdot 24 = 960 \text{ м}^2.$$

Розрахункова висота підвісу  $h$  світильників зазвичай задається розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення  $\lambda$  відстані між світильниками  $L$  до розрахункової висоті підвісу  $h$  приймається в залежності від типової кривої сили світла світильника. В даному випадку для світильників з газорозрядними лампами рекомендоване значення  $\lambda = 1$  (при глибокій типовій кривій).

Визначимо розрахункову висоту підвісу за формулою:

$$h = H - h_{cv} - h_{pn},$$

де:  $h$  – розрахункова висота підвісу, м;

$H = 10$  – висота приміщення, м;

$h_{cv} = 1$  – висота звису світильника (від перекриття), м;

$h_{pn} = 0,8$  – висота робочої поверхні над підлогою, м.

$$h = 10 - 1 - 0,8 = 8,2 \text{ м};$$

Відстань між рядами світильників визначаємо з формули:

$$L_{pcv} = \lambda \cdot h,$$

$$L_{pcv} = 1 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ м};$$

Число світильників в приміщенні:

Підп. і дата					ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						50
Інв. № дубл.						
Зам. Інв. №						
Підп. і дата						
Інв. № подл.						
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N = \frac{S}{L_{psc}^2} = \frac{960}{8,2^2} = 14,27 \approx 15 \text{ шт.}$$

Відстань між крайніми світильниками і стіною:

$$l = 0,45 \cdot L_{psc} = 0,45 \cdot 8,2 = 3,69 \approx 4 \text{ м.}$$

Для визначення коефіцієнта використання знайдемо індекс приміщення  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{40 \cdot 24}{8,2 \cdot (40 + 24)} = 1,83 \approx 2$$

Коефіцієнти відбиття поверхонь цеху: стелі --  $p_n = 70 \%$ , стін --  $p_c = 50 \%$ , підлоги --  $p_p = 10 \%$ . а отриманими значеннями  $i$  і  $p$  визначимо величину коефіцієнта використання світлового потоку для РСП05 / Г03. Для даного світильника  $\eta = 74\%$ .

За формулою визначимо необхідний світловий потік в кожному світильнику:

$$F = \frac{100 \cdot 960 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,74} = 12929,73 \text{ лм.}$$

Розташування світильників в приміщенні цеху приведено на рис. 4.1.

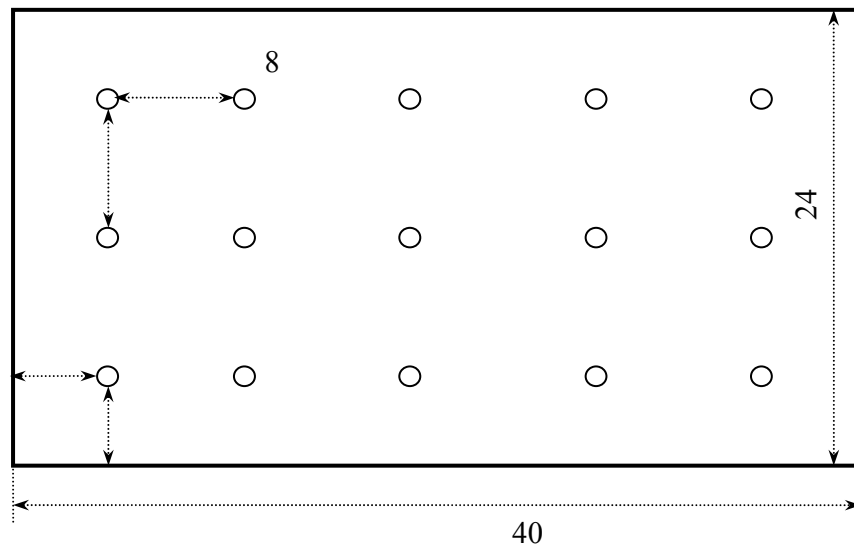


Рисунок 4.1 - Розташування світильників в цеху

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

51



## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Головною метою даного розділу є визначення капітальних та експлуатаційних витрат на впровадження проектного варіанту системи електропривода переміщення електричної талі вантажопідйомного крану.

Об'єктом проектування є система електропривода на основі перетворювача частоти ALTIVAR 320.

До впровадження проектного варіанту в якості приводного двигуна використовувався асинхронний двигун з короткозамкненим та релейно-контакторною схемою керування. При цьому прискорення неможливо було регулювати і під час пуску у механічній передачі спостерігались часті удари. При пуску обладнання рух здійснювався ривками.

Розрахунки в спеціальній частині проекту показали доцільність використання сучасної системи електропривода перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ПЧ-АД). Використання такої системи електропривода дозволить впливати на параметри технологічного процесу та умови роботи обладнання: змінювати швидкість без втручання у механічну частину електропривода, змінювати значення прискорення у широких межах і здійснювати плавний розгін, зменшити динамічні навантаження в елементах електропривода за рахунок підвищення якості регулювання режимами роботи двигуна. Також це дозволить підвищити надійність експлуатації устаткування, зменшити кількість ремонтів та час на додаткове обслуговування, зменшити споживання електричної енергії.

### 5.1 Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції – це грошові ресурси, призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, які підлягають амортизації.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

53

Капітальні витрати на впровадження проектного варіанта визначаються наступним чином:

$$K_{IP} = K_{OB} + K_{TЗC} + K_{MH}$$

де  $K_{OB}$  – вартість придбаного обладнання, грн;

$K_{TЗC}$  – транспортно - заготівельні та складські витрати, грн;

$K_{MH}$  – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн.

Транспортно-заготівельні витрати включені у вартість електрообладнання, так як фірма – продавець здійснює його доставку відповідно до договору.

Демонтажні та монтажно-налагоджувальні роботи здійснюються на підприємстві штатними електромеханіками та розраховуються відповідно до формули:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\delta} \times K_{cm} \times K_{np}$$

де  $i=4$  – розряд робочих, що здійснюють монтажно – налагоджувальні роботи;

$C_i = 2$  чол. – чисельність робочих 4-го розряду задіяних у монтажі;

$a_i = 60,5$  грн. – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер 4-го розряду);

$t_i = 32$  год. – час на виконання монтажу та наладки;

$K_{\delta} = 1,15$  – коефіцієнт доплат;

$K_{cm} = 1,22$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{np} = 1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

Вартість монтажних робіт:

$$Z_m = (2 \times 32 \times 60,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 5704,04 \text{ грн.}$$

Вартість демонтажних робіт ( $t_{\delta} = 16$  год. – час на здійснення демонтажу):

$$Z_n = (2 \times 16 \times 60,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 2852,00 \text{ грн.}$$

Разом:

$$Z_{m(n)} = Z_n + Z_m = 5704,04 + 2852,00 = 8556,04 \text{ грн.}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

54



Проектні капіталовкладення в обладнання та монтаж-налагоджувальні роботи прийняті на основі цін прейскуранта на електрообладнання фірми “Шнейдер Електрик Україна”, (м. Київ, Україна) від 01.04.19.

Розрахунок капітальних витрат подамо в вигляді таблиці капітальних витрат за розділами (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування розділів	Проектний варіант, грн.
1.	Електрообладнання:	
	Електропривод ALTIVAR 930	18250,90
	Дросель мережевий	4190,96
	Вимикач автоматичний	918,5
	Резистор гальмівний	940,78
	Шафа металева (800*800*300)	6020,2
	Разом	30321,34
2.	Витрати на монтаж та наладку	5704,04
3.	Демонтажні роботи	2852,00
4	Ліквідаційна вартість базового обладнання	0,0
	<b>РАЗОМ</b>	<b>38877,38</b>

Таким чином, капітальні витрати на впровадження проектного варіанту складають:

$$K_{ДР} = 30321,34 + 5704,04 + 2852,00 = 38877,38 \text{ грн.}$$

**5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат**

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об’єкту проектування за певний період, виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат за електротехнічним обладнанням відносяться :

- амортизаційні відрахування ( $C_A$ );

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
						55

- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання ( $C_T$ );
- вартість електроенергії, спожитої об'єктом проектування ( $C_E$ );
- інші витрати ( $C_{IH}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_m + C_e + C_{IH}, \text{ грн.}$$

### 5.2.1 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів та нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат.

Обладнання, що встановлюється, відноситься до 4 групи основних фондів – машини та устаткування з мінімальним строком експлуатації 5 років.

Відсоток амортизаційних відрахувань визначаємо прямолінійним методом – пропорційним розподілом суми витрат на весь строк служби:

$$H_a = \frac{1}{T_n} \times 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%,$$

Оскільки, проектний варіант розглядається для впровадження, ліквідаційна вартість основних засобів дорівнює 0,0 грн.

$$C_A = K_{PP} \times H_a$$

$$C_A = 38877,38 \times 20\% = 7775,48 \text{ грн}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
											56

## 5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Кількість спожитої за рік електроенергії в проектному варіанті розрахуємо за формулою:

$$W_2 = N_y \times \Phi_2 / КПД$$

$N_y = 0,55$  кВт – встановлена потужність обладнання в проектному варіанті;

$КПД = 0,92$  – коефіцієнт корисної дії електропривода в проектному варіанті;

$\Phi_2$  – річний фонд робочого часу визначаємо за формулою:

$$\Phi_2 = (D_k - D_{np} - D_v) \times T_{cm}, \text{ год.},$$

$$\Phi_2 = (365 - 104 - 11) \times 5 = 1250 \text{ год}$$

де  $D_k$  – кількість календарних днів в році, 365 днів;

$D_{np}$  – кількість святкових днів в році, 11 днів;

$D_v$  – кількість вихідних днів в році, 104 дні;

$T_{cm}$  – номінальний час роботи обладнання, 5 год.

Робота на підприємстві здійснюється у дві робочі зміни загальною тривалістю 16 робочих години. Розглянутий вантажний кран є допоміжним пристроєм для здійснення основних технологічних операцій і використовується не постійно. Загальна тривалість роботи на добу складає 5 робочих годин.

$$W_{2n} = 0,55 \times 1250 / 0,92 = 747,28 \text{ (кВт·рік)}$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року, визначається виходячи з його встановленої потужності та річного фонду робочого часу об'єкта за формулою:

$$C_E = W_2 \times Ц_э,$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

57

$$C_E = 747,28 \times 2,019 = 1509,11 \text{ грн}$$

де  $C_E$  - тариф 1 кВт\*год. електроенергії для споживачів 1-го класу 1-ї групи, за даними «Дніпрообленерго» станом на 01.05.2019 становить 2,019 грн/кВт\*год.

### 5.2.3 Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електротехнічного обладнання складають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робочим та т.і. Витрати на технічне обслуговування визначимо як 1% від рівня капітальних витрат (відсоткова ставка для електроустаткування):

$$C_T = (1\%) \times K_{ПР} = 0,01 \times 38877,38 = 388,78 \text{ грн}$$

### 5.2.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Обслуговування крану здійснюється змінними електромонтерами з ремонту електрообладнання. В обов'язки цих працівників входить обслуговування не тільки цього крану, але і іншого обладнання. Загальний час, який витрачається на обслуговування саме крану, складає 2 години на зміну, тобто четверту частину від тривалості зміни. Робота ведеться у дві зміни. В кожній зміні працює 2 електромонтери. У 2019 році нараховується 250 робочих днів загальною тривалістю 1993 години (з урахуванням повних та передсвяткових робочих днів).

Розрахунок річного фонду заробітної плати складемо у вигляді таблиці.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
											58

**Розрахунок річного фонду основної заробітної плати  
обслуговуючого персоналу**

№ п/п	Найменування професії робітників	Явочний штат у зміну, осіб	Списковий склад з урахуванням змінності роботи, осіб	Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, годин	Усього основна зарплата, грн.	Заробітна плата на обслуговування установки, грн
1.	Електромонтер з ремонту електрообладнання	2	4	60,5 грн/год	1993,0	482306,00	120576,50

Додаткову заробітну плату визначимо з розрахунку 10% від основної.

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{осн}} \times 0,1 = 120576,5 \times 0,1 = 12057,65 \text{ грн}$$

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати, необхідної для обслуговування установки (тельферний кран), складає:

$$C_3 = Z_{\text{дод}} + Z_{\text{осн}} = 120576,5 + 12057,65 = 132634,15 \text{ грн}$$

### 5.2.5 Розрахунок єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок розраховується на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати. Законодавством встановлено 22% відрахувань на єдиний соціальний внесок.

$$C_C = C_3 \times 0,22 = 0,22 \times 132634,15 = 19179,51 \text{ грн}$$

Інв. № подл.	Підп. і дата
Зам. Інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

59

## 5.2.6 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати на охорону праці, на спецодяг тощо. Відповідно до практики ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{IH} = C_3 \times 0,04 = 0,04 \times 132634,15 = 5305,37 \text{ грн}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати для проектного варіанта складуть:

$$C_{IP} = C_A + C_3 + C_C + C_T + C_E + C_{IH} \text{ грн}$$

$$C_{IP} = 7775,48 + 132634,15 + 19179,51 + 5305,37 + 388,78 + \dots$$

$$\dots + 1509,11 = 166792,4 \text{ грн;}$$

За результатами проведених розрахунків визначена сума капітальних інвестицій та експлуатаційних витрат. Сума капітальних інвестицій склала 38877,38 грн. Сума експлуатаційних витрат склала 166792,4 грн. Основну частину в експлуатаційних витратах складають витрати, пов'язані з оплатою заробітної платі та відрахувань з неї.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ	Арк
											60

## ВИСНОВКИ

1. Проведено розрахунок потужності і вибір двигуна електроприводу переміщення електричної талі. Основним критерієм вибору двигуна є величина динамічного моменту, який він може розвивати для розгону.

2. Запропонована система векторного керування швидкістю електродвигуна. Виконані розрахунки регуляторів.

3. Для керування двигуном вибрано перетворювач частоти типа ATV320U06N4C та додаткове обладнання.

4. Методами математичного моделювання проведено дослідження роботи запропонованої системи керування електроприводом, які підтвердили її працездатність.

5. В розділі «Техніко-економічне обґрунтування» проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

6. В розділі «Охорона праці» виконано аналіз шкідливих виробничих факторів, запропоновані організаційно-технічні заходи з охорони праці. Виконано розрахунок штучного освітлення.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ					Арк
										61
					Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ТЭ-500 Инструкция по монтажу и эксплуатации
2. ИСО4301/1-86. Краны и подъемные устройства. Общие положения – М.: Издательство стандартов, 1987. - 9 с.
3. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
4. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромыш-ленных механизмов. Изд. 3-е, переработ. и доп., М., «Энергия», 1976. – 488 с.
5. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – Д., Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
6. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./ Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -616 с.
8. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М.: «Энергия», 1977. – 432 с.
9. Ковач К.П., Рац И. переходные процессы в машинах переменного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1983
10. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
11. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
12. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. / В.В. Рудаков, И.М.Столяров, В.А. Дартау. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 136 с.
13. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока свентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, Л. М. Тарасенко, И. С. Кузнецов, Е.Д. Лебедев – М.: Энергоатомиздат, 1983.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ДП.19.07.ПЗ

Арк

62



14. [www.schneider-electric.ua](http://www.schneider-electric.ua) ALTIVAR 320 Преобразователи частоты. Каталог 2018 г.

15. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.

16. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів галузі знань 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Н. В. Дементьєва – Дніпропетровськ: НТУ "Дніпровська політехніка", 2019. – 18 с.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ЕП.ДП.19.07.ПЗ				Арк
									63
					Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата