

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Асинхронний електропривод з автоматизованим керуванням для механізму підйому мостового крану

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛКп-19
(шифр групи)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
підготовки електромеханіка
(шифр і назва спеціальності підготовки)

Григорій КОВАЛЬОВ
(ім'я та прізвище) _____
(підпис)

Керівник доц. каф. ЕлІн, Н. САВЧЕНКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище) _____
(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище) _____
(підпис)

Нормоконтроль:

(підпис) О. ЛЮБИМЕНКО
02.06.2022
(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)
02.06.2022
(дата)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Григорію КОВАЛЬОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Асинхронний електропривод з автоматизованим керуванням для механізму підйому мостового крану

керівник роботи _____ Наталя САВЧЕНКО, к.т.н.

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 02 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

Вантажопідйомність лебідки 125 кН; вага гака 6,4 кН; діаметр барабана 0,5 м; момент інерції барабана 32 кг·м²; кратність полиспаста 3; швидкість підймання вантажу 0,52; швидкість опускання вантажу 0,55

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

1 Загальні відомості про мостові крани

2 Розробка електроприводу вантажопідйомної лебідки мостового крану

3 Моделювання системи електроприводу

4 Розробка заходів з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Н. САВЧЕНКО, доц. каф. ЕлІн		
Розділ 4	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф. ЕлІн		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.22 – 15.05.22	
2.	Розділ 2	16.05.22 – 20.05.22	
3.	Розділ 3	21.05.22 – 30.05.22	
4.	Розділ 4	31.05.22 – 06.06.22	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Григорій КОВАЛЬОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник
роботи _____
(підпис)

Наталя САВЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Г. КОВАЛЬОВ, Асинхронний електропривод з автоматизованим керуванням для механізму підйому мостового крану / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2022 рік.

У виконаній кваліфікаційній роботі був виконаний огляд загальних питань стосовно мостових кранів: сфери застосування, особливості конструкції, загальний вигляд тощо. Досліджені кінематичні схеми кранових механізмів. Проведений опис промислового механізму та технологічного циклу його роботи. Побудована діаграма статичного навантаження та попередньо обрана потужність асинхронного двигуна з фазним ротором. Визначенні режими роботи двигуна. Проведений розрахунок уточнених механічних та швидкісних характеристик двигуна, побудована навантажувальна діаграма двигуна. Перевірений двигун за нагрівом та перевантажувальною здатністю. Моделювання системи електроприводу проведено за допомогою Simulink Matlab. Отримано графіки механічних характеристик приводу.

Ключові слова: мостовий кран, електропривод, лебідка, асинхронний двигун, Matlab, Simulink, моделювання, перехідний процес, перевантажувальна здатність, механічна характеристика

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОСТОВІ КРАНИ.....	7
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАНТАЖОПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ МОСТОВОГО КРАНУ	13
2.1 Опис кранового механізму та технологічного циклу його роботи.....	13
2.2 Побудова діаграми статичного навантаження. Попередній вибір потужності асинхронного двигуна з фазним ротором	14
2.3 Визначення режимів роботи двигуна.....	22
2.4 Розрахунок уточнених механічних та швидкісних характеристик двигуна	30
2.5 Розрахунок перехідних процесів. Побудова навантажувальної діаграми двигуна	34
2.6 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальною здатністю	39
2.7 Тепловий розрахунок та вибір опорів, складання схем з'єднання стандартних ящиків опорів	41
2.8 Розрахунок споживаної електроенергії за один цикл роботи електропривода.....	46
3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	47
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53
ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ	54

ВСТУП

Електричні підйомні крани відносяться до пристроїв призначених для переміщення вантажів у вертикальній та горизонтальній. Пересувна конструкція виконана з металу на якій розташовується лебідка складає основу підйомного крану. Приводи механізмів пересування ферми крану та підйомна лебідка базуються на електричних двигунах.

Умови роботи, призначення кранів визначають їх конструктивну форму. Кожна група кранів залежно від характеру переміщуваного вантажу розділяють за видом вантажозаплюючого прист4рою. Якщо не брати до уваги конструктивні аспекти підйомних кранів, в усіх них наявне типове електрообладнання, задача вибору якого зводиться до врахування умов праці та характеру навантаження.

Оператор крану здійснює керування двигунами за допомогою контролерів з операторської кабіни.

Складно переоцінити внесок електроприводу в системи комплексної механізації та автоматизації. Серії електродвигунів представлені у дуже широкому діапазоні потужностей. Вони достатньо легко інтегруються в єдине ціле з технологічними обладнанням, мають компактні габарити, економічні, відрізняються високими регульовальними властивостями.

Станом на зараз автоматизований електропривод іде шляхом підвищення економічності та надійності чим можна завдячувати технологічному прогресу в апаратах, перетворювачах, аналогових та цифрових засобах керування.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОСТОВІ КРАНИ

На об'єктах промисловості експлуатується велика кількість електричних кранів, які відрізняються за своїм призначенням і конструктивним виконанням. На рудних дворах і вугільних складах використовують грейферні мостові перевантажувачі; на шихтових дворах - магнітно-грейферні крани, призначені для підготовки і транспортування шихти. Найбільшими та вкрай відповідальними є заливальні та розливні крани сучасних конверторних цехів і міксерних кранів. Ці крани мають вантажопідйомність до 550 т. Їх відносять до групи ливарних. У відділенні виливниць використовують стриперні крани для вилучення зливків з виливниць, для проведення заміни фурм, переміщення ковшів зі шлаком. У прокатних цехах, а також у цехах безперервного розливання сталі використовуються мостові кліщові крани. Окрім основних операцій, металургійні крани можуть виконувати багато допоміжних операцій, що пов'язані з ремонтом і обслуговуванням устаткування, прибиранням, заміною футерування. Найбільшого застосування в металургійних цехах знайшли крани мостового типу.

Мостові крани конструктивно обладнані механізмом підйому, пересування моста та пересування вантажного візка. На підйомний механізм заливальних кранів встановлюється два гаки, які за допомогою траверси та канатів підвішуються до двох барабанів головної вантажного візка. Кожен барабан приводиться в обертання через редуктор від окремого електродвигуна. Зубчасті вінці вантажних барабанів перебувають в зачепленні, чим забезпечується їх синхронне обертання. Окрім головного вантажного візка, заливний кран обладнаний допоміжним візком із одним або двома підйомними механізмами для кантування ковша при виливанні рідкого металу і проведення різних допоміжних операцій.

Приводи кранів характеризуються повторно-короткочасним режимом роботи, регулюванням швидкості, значними перевантаженням, частим реверсуванням, електричним гальмуванням, значними вібраціями, поштовхами,

частими пусками, в тому числі під навантаженням і т.д. Все це вимагає від електроустаткування основних кранів металургійних цехів дотримання ряду специфічних вимог основними серед них є: висока ступінь надійності,

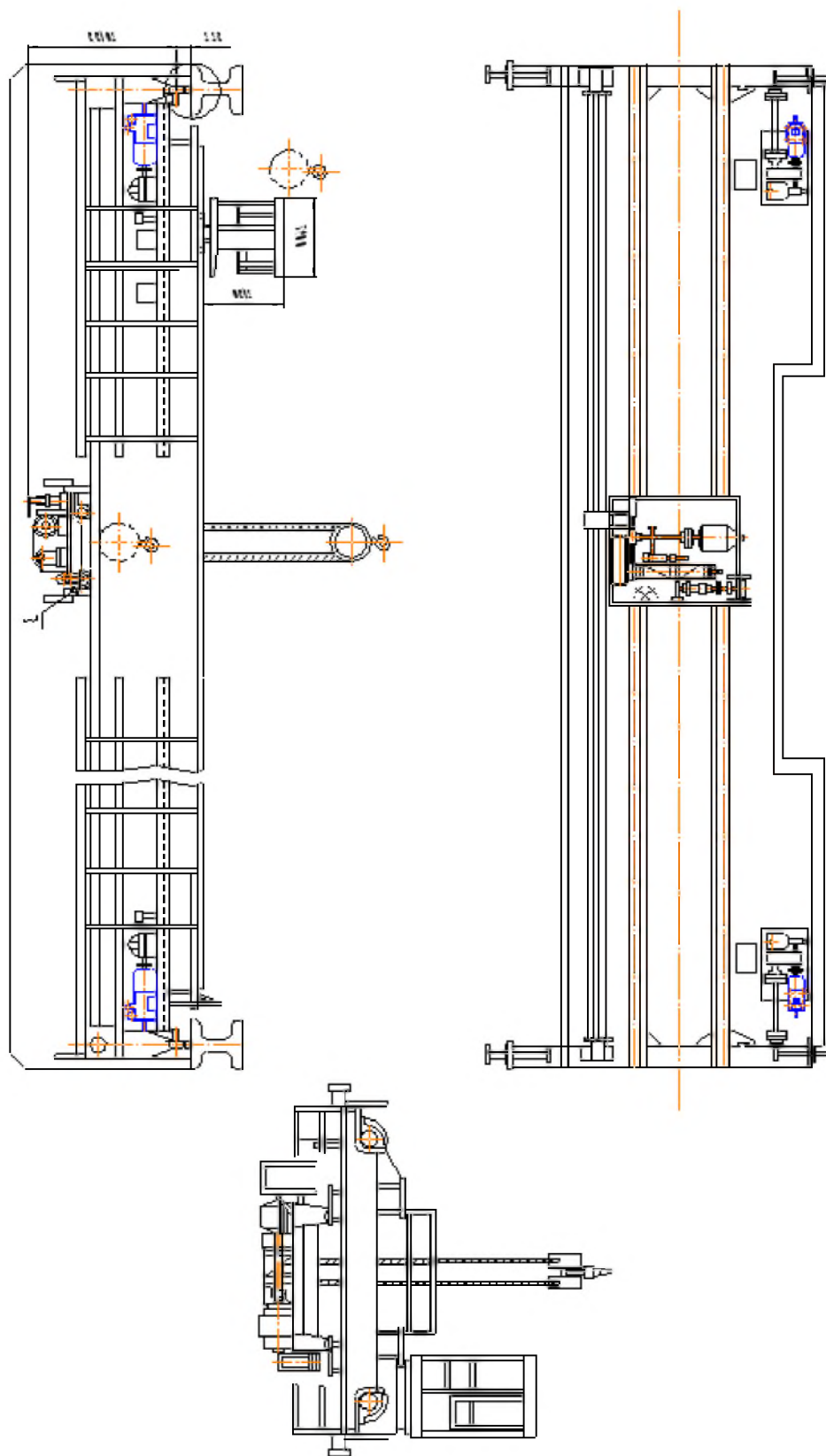


Рисунок 1 – Загальний вигляд мостового крана

висока механічна міцність, безперебійність роботи, безпеку обслуговування, забезпечення плавного пуску і регулювання швидкості (в діапазоні до 30:1) простота експлуатації і ремонту.

Приводи кранів облаштовані електродвигунами кранової та металургійної серій із теплостійкою ізоляцією, з підвищеною механічною міцністю. Монтаж апаратури проводять в щільно закриті шафи. У електрообладнання є надійний захист від аварійних режимів.

Електродвигуни, трансформатори та перетворювачі, що встановлюються на кранах, мають бути розраховані на напруги до 10 кВ, причому застосування напруги понад 1 кВ має бути обґрунтоване розрахунками, а напруга кіл управління і автоматики обмежуватись 380 В змінного струму і 440 В постійного струму.[1]

Сучасні вантажопідйомні крани відповідно до вимог безпеки, можуть мати для кожного робочого руху в трьох площинах такі окремі механізми: механізм підйому-опускання вантажу (рис. 2), механізм горизонтального пересування крана (рис. 3) та механізми обслуговування зони роботи крана (пересування візка).

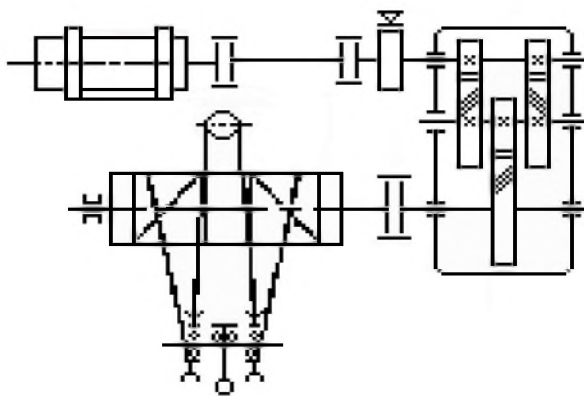


Рисунок 2 – Кінематична схема механізму підйому головного гака

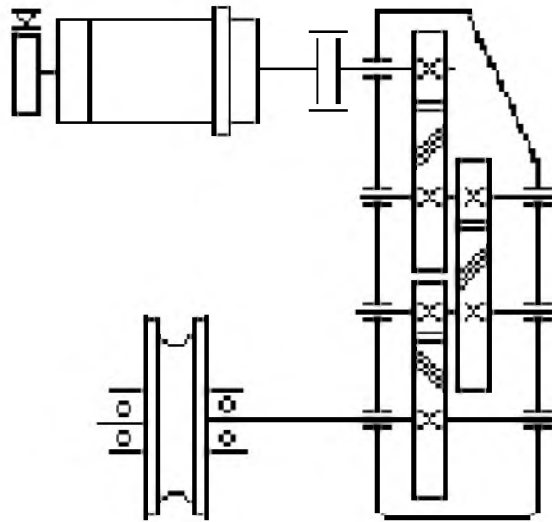


Рисунок 3 – Кінематична схема пересування

Вантажопідйомні машини виробляються для використання за різних умов за ступенем завантаження, тривалістю роботи, інтенсивності проведення операцій, міри відповідальності вантажопідйомних операцій і кліматичних умов експлуатації. Дані умови забезпечуються основними параметрами вантажопідйомних машин. Основними параметрами механізму підйому є: вантажопідйомність, швидкість підйому-опускання гака, режим роботи, висота підйому вантажозахоплювального пристрою.

Для електроприводів більшості вантажопідйомних машин є характерним повторно-короткочасний режим роботи за значних частот включення, широкого діапазону регулювання швидкості і постійно виникаючих істотних перевантаженнях під час розгону і гальмування механізмів. Особливості умов використання електроприводу у вантажопідйомних машинах лягли в основу для створення спеціальних серій електродвигунів і апаратів кранового виконання. На теперішній час у крановому електрообладнанні наявні серії кранових електричних двигунів змінного та постійного струму, серії командоконтролерів, силових і магнітних контролерів, кнопкових постів, гальмових електромагнітів і електрогідравлічних штовхачів, кінцевих вимикачів, пускотормозних резисторів і ряд інших апаратів, що комплектують різні кранові електроприводи.

У крановому електроприводі знайшлося досить широке місце для застосування різних систем тиристорного регулювання та дистанційного керування по радіоканалу або одному дроту.

Номінальною вантажопідйомністю називають масу номінального вантажу на гаку або захоплюючому пристрої, що піднімає вантажопідйомна машина.

Швидкість підйому гака обирається залежно від вимог, що висуваються технологічним процесом, в якому бере участь ця вантажопідйомна машина, характеру виконуваної роботи, типу машини та її продуктивності.

Характер режиму роботи вантажопідйомних машин циклічний. Один цикл складається з переміщення вантажу за заданою траєкторією та повернення в початкове положення для початку нового циклу.

Таблиця 1 – Технічні і технологічні параметри підйомної лебідки

№ з/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Значення
1	Вантажопідйомність лебідки	G	кН	125
2	Вага гака	G_0	кН	6,4
3	Діаметр барабана	D_{δ}	м	0,5
4	Момент інерції барабана	J_{δ}	кг·м ²	32
5	Кратність полиспада	k		3
6	Швидкість підймання вантажу	$v_{п.в}$	м/с	0,52
7	Швидкість опускання вантажу	$v_{оп.в}$	м/с	0,55
8	Середнє прискорення (сповільнення) під час піднімання вантажу	$a_{п.в}$	м/с ²	0,42
9	Середнє прискорення (сповільнення) під час опускання вантажу	$a_{оп.в}$	м/с ²	0,38
10	Швидкість підймання пустого гака	$v_{п.о}$	м/с	0,54
11	Швидкість опускання пустого гака	$v_{оп.о}$	м/с	0,54
12	Середнє прискорення (сповільнення) під час піднімання пустого гака	$a_{п.о}$	м/с ²	0,63
13	Середнє прискорення (сповільнення) під час опускання пустого гака	$a_{оп.о}$	м/с ²	0,71
14	Посадкова швидкість	v_{noc}	м/с	0,07
15	Висота підймання	H_n	м	10
16	Висота опускання	H_{on}	м	9

Продовження таблиці 1

17	Довжина провису	L_{np}	м	1
18	Швидкість при виборі (напуску) провису	v_{np}	м/с	0,27
19	Середнє прискорення (сповільнення) при виборі або напуску провису	a_{np}	м/с ²	0,5
20	Час на горизонтальне переміщення вантажу	$t_{гор.в}$	с	82
21	Час на горизонтальне переміщення гака	$t_{гор.о}$	с	69
22	Час на завантаження	$t_{зав}$	с	62
23	Час на розвантаження	$t_{роз}$	с	50

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАНТАЖОПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ МОСТОВОГО КРАНУ

2.1 Опис кранового механізму та технологічного циклу його роботи

Призначення мостового крана полягає в підйманні-опусканні вантажу та його горизонтальному переміщенні в двох взаємно перпендикулярних напрямках: один напрямок – рух самого моста по рейках, інший – рух вантажного возика уздовж балки, яка укріплена у верхній частині крана. Підйомні крани застосовуються у виробничих цехах і на складах.

Кінематична схема підйомної лебідки крана наведена на рисунку 4. Тут позначені: 1 – канатний барабан, 2 – редуктор, 3 – муфта зі встановленим електромагнітним фрикційним гальмом, 4 – приводний двигун, 5 – поліспаст, 6 – вантажозахоплюючий гак, 7 – вантаж.

Електропривод лебідки оснащений асинхронним двигуном із фазним ротором. Напруга мережі живлення 220 В.

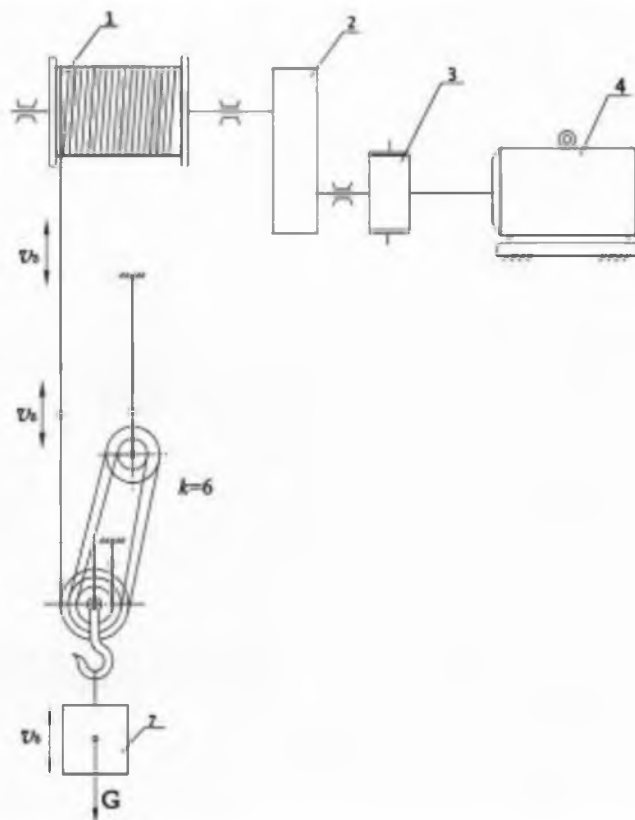


Рисунок 4 – Кінематична схема механізму підйому мостового крана

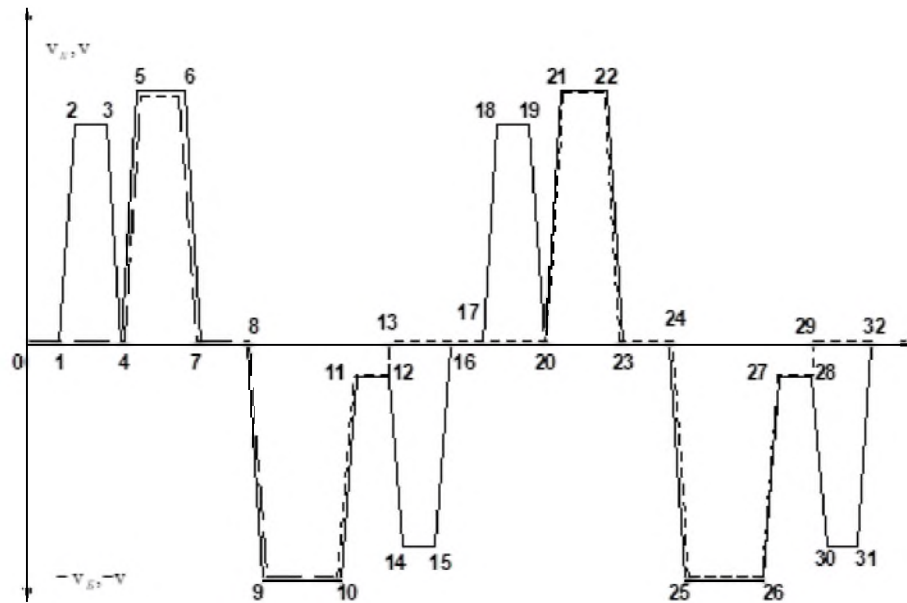


Рисунок 5 – Циклова тахограма роботи вантажопідійомної лебідки мостового крана:

— лінійна швидкість барабана;

- - - - швидкість вантажу (гака)

2.2 Побудова діаграми статичного навантаження. Попередній вибір потужності асинхронного двигуна з фазним ротором

При змінному характері механічному навантаженні, що є властивим для кранових і переважної інших механізмів, потужність двигуна розраховується методом послідовних наближень: першочергово потужність попередньо знаходиться з діаграми статичного навантаження, далі будують повну навантажувальну діаграму, враховуючи перехідні процеси та виконують перевірку двигуна за нагрівом і перевантажувальною здатністю.[2]

2.2.1 Розрахунок тривалості роботи при підніманні-опусканні вантажу

Підйом вантажу

– час витрачений на розгін та гальмування

$$t_{p.n.в.} = t_{з.н.в.} = \frac{v_{н.в.}}{a_{н.в.}} = \frac{0,52}{0,42} = 1,24 \text{ с}$$

– шлях, що проходить вантаж за час розгону та гальмування

$$L_{p.n.в.} = L_{з.н.в.} = \frac{a_{н.в.} \cdot t_{п.н.в.}^2}{2} = \frac{0,42 \cdot 1,24^2}{2} = 0,32 \text{ м}$$

– час витрачений на рух з усталеною швидкістю при підйманні вантажу

$$t_{у.н.в.} = \frac{H_n - 2L_{п.н.в.}}{v_{н.в.}} = \frac{10 - 2 \cdot 0,32}{0,52} = 18 \text{ с}$$

Опускання вантажу

– час витрачений на розгін

$$t_{п.он.в.} = \frac{v_{он.в.}}{a_{он.в.}} = \frac{0,55}{0,38} = 1,45 \text{ с}$$

– шлях, що проходить вантаж за час розгону

$$L_{п.он.в.} = \frac{a_{он.в.} \cdot t_{п.он.в.}^2}{2} = \frac{0,38 \cdot 1,45^2}{2} = 0,4 \text{ м}$$

– час, витрачений при гальмуванні від основної швидкості до посадкової

$$t_{з.он.в.} = \frac{v_{он.в.} - v_{noc}}{a_{он.в.}} = \frac{0,55 - 0,07}{0,38} = 1,26 \text{ с}$$

– шлях, який проходить вантаж за час гальмування

$$L_{\varepsilon, \text{он.б.}} = \frac{v_{\text{он.б.}} - v_{\text{noc}}}{2} t_{\varepsilon, \text{noc}} = \frac{0,55 - 0,07}{2} 1,26 = 0,3 \text{ м}$$

Приймаючи шлях, що проходить вантаж з посадковою швидкістю $L_{\text{noc}} = 0,5 \text{ м}$, отримуємо час руху з усталеною основною швидкістю:

$$t_{y, \text{он}} = \frac{H_{\text{он}} - L_{\varepsilon} - L_{\varepsilon, \text{noc}} - L_{\text{noc}}}{v_{\text{оп.б}}} = \frac{9 - 0,4 - 0,3 - 0,5}{0,55} = 14,18 \text{ с}$$

Час витрачений на рух з посадковою швидкістю

$$t_{y, \text{noc}} = \frac{L_{\text{noc}}}{v_{\text{noc}}} = \frac{0,5}{0,07} = 7,14 \text{ с}$$

2.2.2 Тривалість роботи при виконанні операції підйому або опускання гака

Підйом пустого гака

– час витрачений на розгін і гальмування

$$t_{p, \text{n.o.}} = t_{\varepsilon, \text{n.o.}} = \frac{v_{\text{n.o.}}}{a_{\text{n.o.}}} = \frac{0,54}{0,63} = 0,86 \text{ с}$$

– пройдений шлях за час розгону

$$L_{p, \text{n.o.}} = \frac{a_{\text{n.o.}} \cdot t_{p, \text{n.o.}}^2}{2} = \frac{0,23 \cdot 0,86^2}{2} = 0,23 \text{ м}$$

– час витрачений на рух з усталеною швидкістю при піднятті вантажу

$$t_{y.no} = \frac{H_n - 2L_{p.no}}{v_{n.o}} = \frac{10 - 2 \cdot 0,23}{0,54} = 17,66 \text{ с}$$

Опускання пустого гака

– час затрачений на розгін

$$t_{p.on.o} = \frac{v_{on.o}}{a_{on.o}} = \frac{0,54}{0,71} = 0,62 \text{ с}$$

– шлях, що пройде гак за час розгону

$$L_{p.on.o} = \frac{a_{on.o} \cdot t_{p.on.o}^2}{2} = \frac{0,71 \cdot 0,62^2}{2} = 0,2 \text{ м}$$

– час затрачений на гальмування від основної до посадкової швидкості

$$t_{z.on.o} = \frac{v_{on.o} - v_{noc}}{a_{on.o}} = \frac{0,54 - 0,07}{0,71} = 0,66 \text{ с}$$

– шлях пройдений за час гальмування

$$L_{z.on.o} = \frac{v_{on.o} - v_{noc}}{2} t_{z.on.o} = \frac{0,54 - 0,07}{2} 0,66 = 0,16 \text{ м}$$

Прийнявши шлях руху з посадковою швидкістю $L_{noc} = 0,5 \text{ м}$, час затрачений на рух на усталеній основній швидкості

$$t_{y.on} = \frac{H_{on} - L_z - L_{z.noc} - L_{noc}}{v_{on.o}} = \frac{9 - 0,2 - 0,16 - 0,5}{0,54} = 15,07 \text{ с}$$

2.2.3 Розрахунок часу затраченого при напуску-виборі провису

– час витрачений на розгін (гальмування)

$$t_{p(z)} = \frac{v_{np}}{a_{np}} = \frac{0,27}{0,5} = 0,54 \text{ с}$$

– шлях пройдений за час розгону (гальмування)

$$L_{p(z)} = \frac{a_{np} \cdot t_{p(z)}^2}{2} = \frac{0,5 \cdot 0,54^2}{2} = 0,073 \text{ м}$$

– час витрачений на рух на усталеній швидкості при напуску-виборі провису

$$t_{y,np} = \frac{L_{np} - 2L_{p(z)}}{v_{np}} = \frac{1 - 2 \cdot 0,073}{0,27} = 3,15 \text{ с}$$

2.2.4 Розрахунок та побудова діаграми статичного навантаження двигуна

Передатне число редуктора

$$i_p = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot n_n}{k \cdot v_{n.6} \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 580}{3 \cdot 0,52 \cdot 60} = 9,73$$

де n_n – очікувана номінальна швидкість обертання двигуна $n_n = 580 \text{ об / хв.}$

Передатне число одного ступеня від 3 до 5. Число ступенів звідси:

$$n_c = \frac{i_p}{3 \dots 5} = \frac{9,73}{5} = 1,95 \approx 2$$

Номінальне значення ККД редуктора залежить від кількості його ступенів і ККД однієї зубчастої пари, що знаходиться в межах 0,95...0,96.

ККД механізму має залежність від завантаження

$$\eta_{\text{мех.н}} = \eta_p \cdot \eta_{\bar{o}} \cdot \eta_n = 0,96^2 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 0,89$$

$$\eta_{\text{мех.о}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{мех.н}}} + 0,59 \cdot (1 - \eta_{\text{мех.н}}) \cdot \frac{1 - k_3}{k_3}} = \frac{1}{\frac{1}{0,89} + 0,59 \cdot (1 - 0,89) \cdot \frac{1 - 0,0487}{0,0487}} = 0,376$$

де $\eta_{\text{мех.н}}$ – ККД механізму в номінальному режимі;

k_3 – коефіцієнт завантаження, $k_{3,о} = G_0 / (G + G_0) = 6,4 / (125 + 6,4) = 0,044$.

Потужність, що розвивається на валу двигуна під час піднімання вантажу

$$P_{\text{н.в}} = \frac{(G + G_0) \cdot v_{\text{н.в}}}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{(125 + 6,4) \cdot 0,52}{0,89} = 78,63 \text{ кВт}$$

Значення ККД для барабана та поліспада приймаються 0,97.[3]

Під час опускання вантажу енергія йде від механізму до двигуна.

Потужність на валу двигуна тоді:

$$P_{\text{оп.в}} = (G + G_0) \cdot v_{\text{оп.в}} \cdot \eta_{\text{мех}} = (125 + 6,4) \cdot 0,55 \cdot 0,87 = 62,8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пос}} = (G + G_0) \cdot v_{\text{пос}} \cdot \eta_{\text{мех}} = (125 + 6,4) \cdot 0,07 \cdot 0,87 = 8 \text{ кВт}$$

Потужність, що розвивається на валу двигуна:

– під час підймання гака

$$P_{\text{н.о}} = \frac{G_0 \cdot v_{\text{н.о}}}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{6,4 \cdot 0,54}{0,376} = 9,2 \text{ кВт}$$

– під час опускання гака

$$P_{ono} = G_0 \cdot v_{ono} \left(\frac{1}{\eta_{мех}} - 2 \right) = 6.4 \cdot 0.54 \cdot \left(\frac{1}{0.376} - 2 \right) = 2.28 \text{ кВт}$$

Потужність, яку розвиває двигун під час вибору і напуску провису каната

$$P_0 = (G_n + G_0) \cdot D_{\bar{o}} \cdot \omega \cdot \mu_0 / 2 \cdot i_p = (125 + 6.4) \cdot 0.5 \cdot 60.7 \cdot 0.013 / 2 \cdot 9.73 = 2.67 \text{ кВт}$$

де ω – кутова швидкість валу двигуна ($\omega \approx \omega_n = \pi \cdot n_n / 30 = 3.14 \cdot 580 / 30 = 60.7$ рад/с);

μ_0 – коефіцієнт для врахування втрат в редукторі при роботі вхолосту,
 $\mu_0 = 0.024$

За відшуканими значеннями та тривалостями статичних потужностей побудуємо діаграму статичного навантаження привода (рис. 6).

Еквівалентне значення потужності двигуна за нагрівом під статичним навантаженням:

$$P_{c.e} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{4P_0^2 \cdot t_{y.np} + P_{n.s}^2 \cdot t_{y.n.s} + P_{on.s}^2 \cdot t_{y.on.s} + \left(P_{on.s.noc} \cdot \frac{V_{n.s}}{V_{noc}}\right)^2 \cdot t_{y.noc} + P_{no}^2 \cdot t_{y.n.o} + P_{on.o}^2 \cdot t_{y.on.o} + \left(P_{on.o.noc} \cdot \frac{V_{n.o}}{V_{noc}}\right)^2 \cdot t_{y.noc}}{4t_{y.np} + t_{y.n.s} + t_{y.on.s} + 2t_{y.noc} + t_{y.n.o} + t_{y.on.o}}} = 42.8 \text{ кВт}$$

Для двигуна механізму лебідки мостового крана характерний повторно-короткочасний режим роботи, еквівалентна тривалість його включення визначимо за виразом:

$$TB_e = \frac{\sum t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{91,85 \cdot 100}{364,25} = 25,2\%$$

де $\sum t_i$ – сумарний час дії статичного навантаження;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, $t_{\text{ц}} = \sum t_{p(z)j} + \sum t_i + t_{\text{зоп.б}} + t_{\text{зоп.о}} + t_{\text{зас}} + t_{\text{роз}}$;

$$t_{\text{ц}} = 4,84 + 4,56 + 91,85 + 82 + 69 + 62 + 50 = 364,25 \text{ с}$$

$\sum t_{p(z)j}$ – загальний час розгону (гальмування) привода.

За каталогом проводимо вибір кранового двигуна номінальної потужності

$$P_n = k_{\text{зан}} \cdot P_{\text{с.е}} \cdot \sqrt{\frac{TB_e}{TB_n}} = 1,3 \cdot 51,8 \sqrt{\frac{67,8}{25}} = 108,8 \text{ кВт}$$

де $k_{\text{зан}} = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

TB_n – номінальна тривалість включення двигуна, $TB_n = 25\%$.

2.2.5 Вибір двигуна

Параметри обраного двигуна

Асинхронний двигун МТ 73–10

$P_n=132$ кВт; $f=50$ Гц; $U_n=380$ В; $n_n=588$ об/хв; $TB_n=25\%$; $I_{\text{сн}}=285$ А; $I_{\text{сх}}=171$ А; $M_{\text{max}}/M_n=3,3$; $\cos\varphi_n=0,74$; $R_c=0,0155$ Ом; $X_c=0,0732$ Ом; $E_{\text{рн}}=440$ В; $I_{\text{рн}}=174$ А; $R_p=0,0337$ Ом; $X_p=0,098$ Ом; $J=14,2$ кг·м²; $K_e=0,81$.

Зробимо уточнювальний розрахунок передатного числа, числа ступенів, номінального ККД редуктора і, у випадку наявної розбіжності між уточненими та попередніми значеннями $i_p, \eta_{\text{р.н}}$ більше 7%, маємо уточнити потужності $P_{\text{с.е}}$ і P_n .

$$i_p = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}} \cdot n_n}{k \cdot v_{\text{н.б}} \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 586}{4 \cdot 0,3 \cdot 60} = 12,77$$

$$n_c = \frac{i_p}{4} = \frac{12,77}{4} = 3,2 \approx 3$$

Передатне число та число ступенів мають незначні розбіжності, це означає, що номінальний ККД редуктора і потужності $P_{c.e}$, P_n збігаються з розрахованими вище.

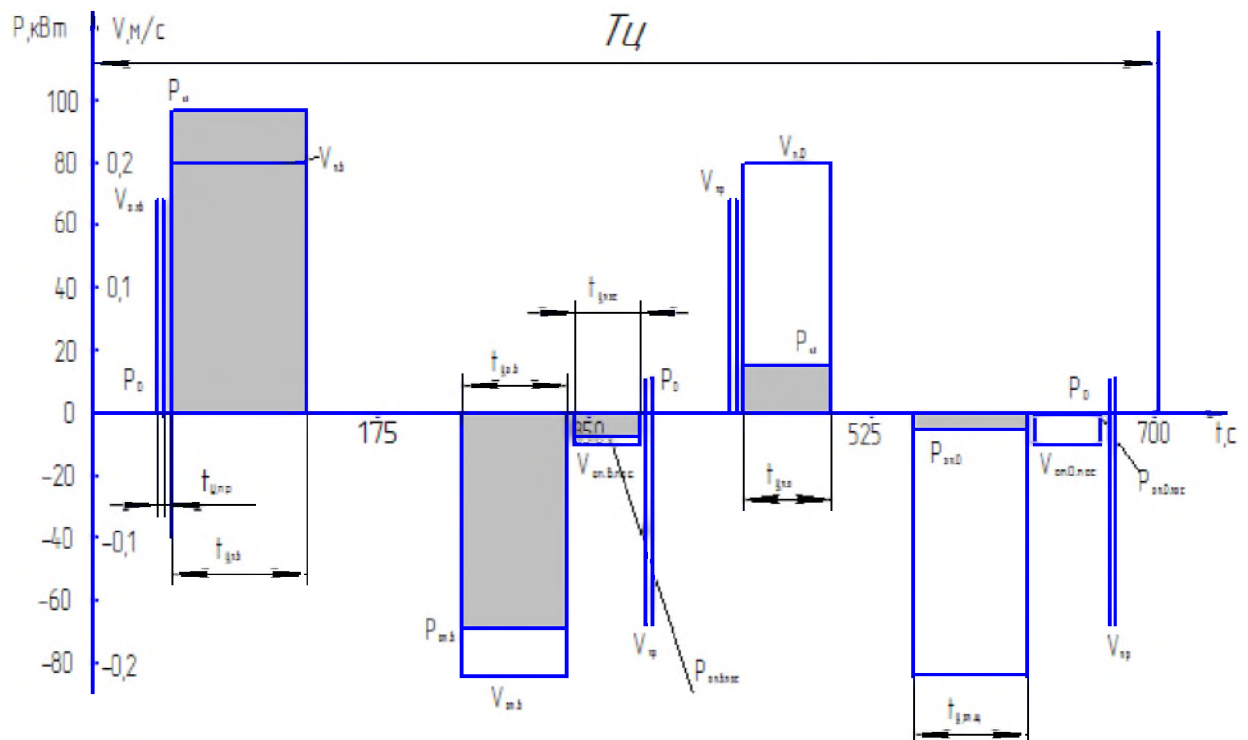


Рисунок 6 – Тахограма та діаграма статичного навантаження

2.3 Визначення режимів роботи двигуна

Для підйомних лебідок кранів є характерними різноманітні режими роботи двигуна, вибрати їх потрібно маючи чіткі уявлення про фізичні властивості сил і моментів, які діють в електроприводі.

2.3.1 Вибір та напуск провису

І для першого, і для другого випадку двигун, долаючи втрати в редукторі, знаходиться під дією реактивного моменту опору:

$$M_{c.нр} = \frac{P_0}{\omega_{нр}} \cdot 10^3 = \frac{2,67}{60,7} \cdot 10^3 = 43,87 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $\omega_{нр} \approx \omega_n$ – усталене значення кутової швидкості обертання двигуна при виборі чи напуску провису.

На рис. 7 зображені механічні характеристики механізму та двигуна під час вибору (напуску) провису.

Середній динамічний момент двигуна визначається:

$$M_{дин.сер.нр} = J_{\Sigma} \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{сер} = J_{\Sigma} \frac{2 \cdot k \cdot i_p}{D_{\delta}} a_{нр} = 8,15 \cdot \frac{2 \cdot 4 \cdot 9,73}{0,5} \cdot 0,5 = 476 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де J_{Σ} – момент інерції обертових частин привода, приведений до валу двигуна,

$$J_{\Sigma} = 1,25 \cdot J_{\delta} + J_{\delta} / i_p^2 = 1,25 \cdot 6,25 + 32 / 9,74^2 = 18 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Через те, що середній динамічний момент є відповідним середній швидкості $\omega_{нр} / 2$, величина пускового моменту $M_{н.нр}$ двигуна дорівнює:

$$M_{н.нр} = M_{c.нр} + 2M_{дин.сер.нр} = 131 + 2 \cdot 1832 = 3795 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Через точки в координатах $M = M_{н.нр}$, $\omega = 0$ і $M = M_{c.нр}$, $\omega = \omega_{нр}$ проходить шукана реостатна механічна характеристика 1 (для характеристики 3 ці ж самі координати беруться з протилежним знаком).

Виходячи з того, що величина $M_{c.нр}$ за модулем менше, ніж абсолютне значення моменту $M_{дин.сер.нр}$, то середній момент двигуна під час гальмування:

$$M_{cp} = -M_{дин.сер.пр} + M_{с.пр} = 132 - 1833 = -1501 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Гальмівний момент на початку:

$$M_{г.пр} \approx -1,3M_{сер} = -1,3 \cdot 1500 = -1950 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Через точки в координатах $M = -M_{г.пр}$, $\omega = \omega_{пр}$ і $M = 0$, $\omega = -\omega_0$ проходить шукана реостатна характеристика 2 (для характеристики 4 ці ж самі координати беруться з протилежним знаком).

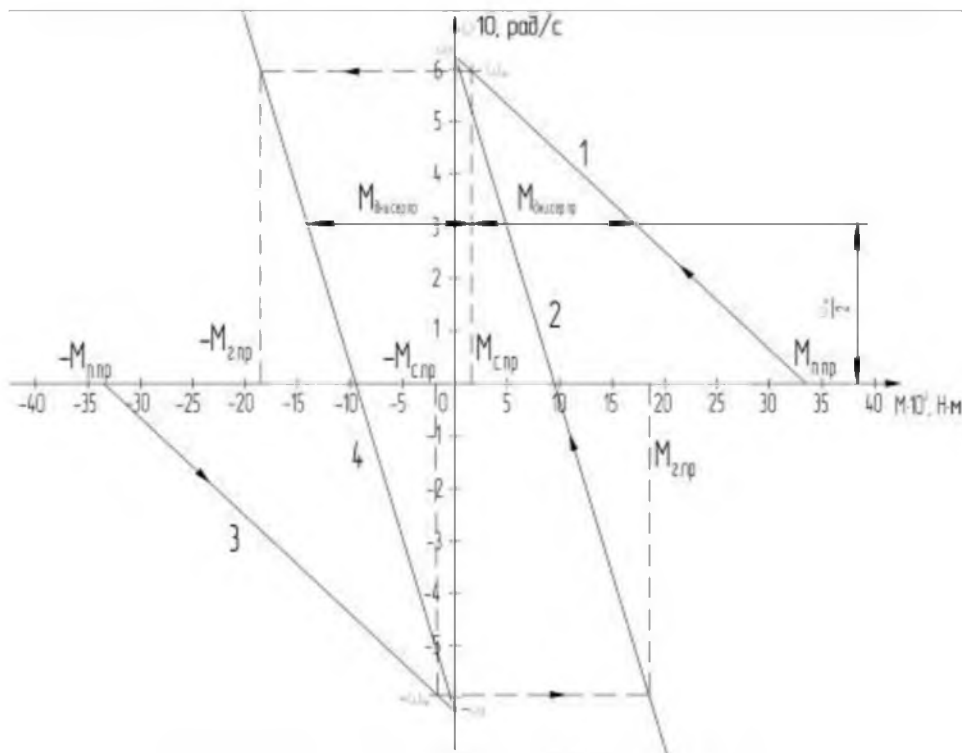


Рисунок 7 – Механічні характеристики при виборі та напуску провису

2.3.2 Підйом вантажу

Середній пусковий момент двигуна для розвивання заданої значення прискорення $a_{н.в}$ під час підймання вантажу:[4]

$$M_{n.сер.п.в} = M_{с.п.в} + M_{дин.сер.п.в} = 1186,6 + 1577,7 = 2764,3 \quad H \cdot m,$$

де $M_{с.п.в}$ – момент опору на валу двигуна під час підймання вантажу:

$$M_{с.п.в} = P_{п.в} \cdot 10^3 / \omega_{п.в} = \frac{10^3 (G + G_0) D_6}{2k \cdot i_p \cdot \eta_{мех}} = \frac{10^3 \cdot (220 + 10,2) \cdot 0,5}{2 \cdot 4 \cdot 12,77 \cdot 0,472} = 2387 \quad H \cdot m,$$

$M_{дин.сер.п.в}$ – середнє значення динамічного моменту двигуна під час розгону:

$$M_{дин.сер.п.в} = 2J_{\Sigma в} \cdot \frac{k \cdot i_p}{D_6} \cdot a_{п.в} = 2 \cdot 18 \frac{4 \cdot 12,78}{0,5} 0,28 = 1029,7 \quad H \cdot m$$

$\omega_{п.в}$ – кутова швидкість обертання двигуна при підніманні вантажу (на природній механічній характеристиці 11), $\omega_{п.в} \approx \omega_n$;

$J_{\Sigma в}$ – момент інерції з урахуванням мас поступально рухомих елементів, приведений до вала двигуна,

$$J_{\Sigma в} = J_{\Sigma} + \frac{(G + G_0)}{g} \cdot \left(\frac{D_6}{2k \cdot i_p} \right)^2 = 18 + \frac{220 + 10,2}{9,81} \cdot \left(\frac{0,5}{2 \cdot 4 \cdot 12,77} \right)^2 = 18 \quad кг \cdot м^2.$$

Прийmemo початкове значення пускового моменту та моменту переключення:

$$(M_{1n} + M_{2n}) / 2 = M_{н.сер.п.в}$$

$$M_{2n} = 1,31 \cdot M_{с.п.в} = 1,31 \cdot 1186,7 = 1545,4 \quad H \cdot m$$

$$M_{1n} = 0,45 \cdot M_{к} = 0,5 \cdot 3,4 \cdot 2048 = 3454,8 \quad H \cdot m$$

Час затрачений на розгін при підйманні вантажу:

$$t_{p.n.6} = J_{\Sigma 6} \cdot \frac{\omega_n}{M_{\text{дин.ср.п.6}}} = 18,42 \cdot \frac{61,335}{1186,6} = 0,953 \text{ с.}$$

Середня величина моменту двигуна при здійсненні гальмування:

$$M_{\text{з.ср.п.6}} = M_{\text{с.п.6}} - M_{\text{дин.ср.п.6}} = 1573,7 - 1185,6 = 386,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

При $M_{\text{з.ср.п.6}} > 0$ двигун має зберігати руховий режим, що реалізується на ділянці $a-b$ графіка 13 (рисунок 8).

$$M_b = 2M_{\text{з.ср.п.6}} = 2 \cdot 386,1 = 773,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.3.3 Спуск вантажу

Значення статичного моменту на валу:

$$M_{\text{с.оп.6}} = \frac{(G + G_0) \cdot D_6 \cdot \eta_{\text{мех}}}{2k \cdot i_p} = \frac{(360 + 26) \cdot 0,6 \cdot 0,807}{2 \cdot 6 \cdot 15,34} = 1006,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Значення динамічного моменту при опусканні навантаженого гака:

$$M_{\text{дин.ср.оп.6}} = 2J_{\Sigma 6} k \frac{i_p}{D_6} a_{\text{оп6}} = 2 \cdot 18,42 \cdot 6 \cdot \frac{15,34}{0,6} \cdot 0,16 = 904,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Середнє значення пускового моменту при опусканні навантаженого гака:

$$M_{\text{н.ср.оп.6}} = M_{\text{с.оп.6}} - M_{\text{дин.ср.оп.6}} = 1006,5 - 904,2 = 102,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Величина середнього гальмівного моменту, що розвивається при опусканні вантажу:

$$M_{з.ср.опв} = M_{с.опв} + M_{дин.ср.опв} = 1006,5 + 904,2 = 1910,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

До досягнення посадкової швидкості двигун працює в режимі противмикання – 15, для остаточної зупинки використовують динамічне гальмування – 16.

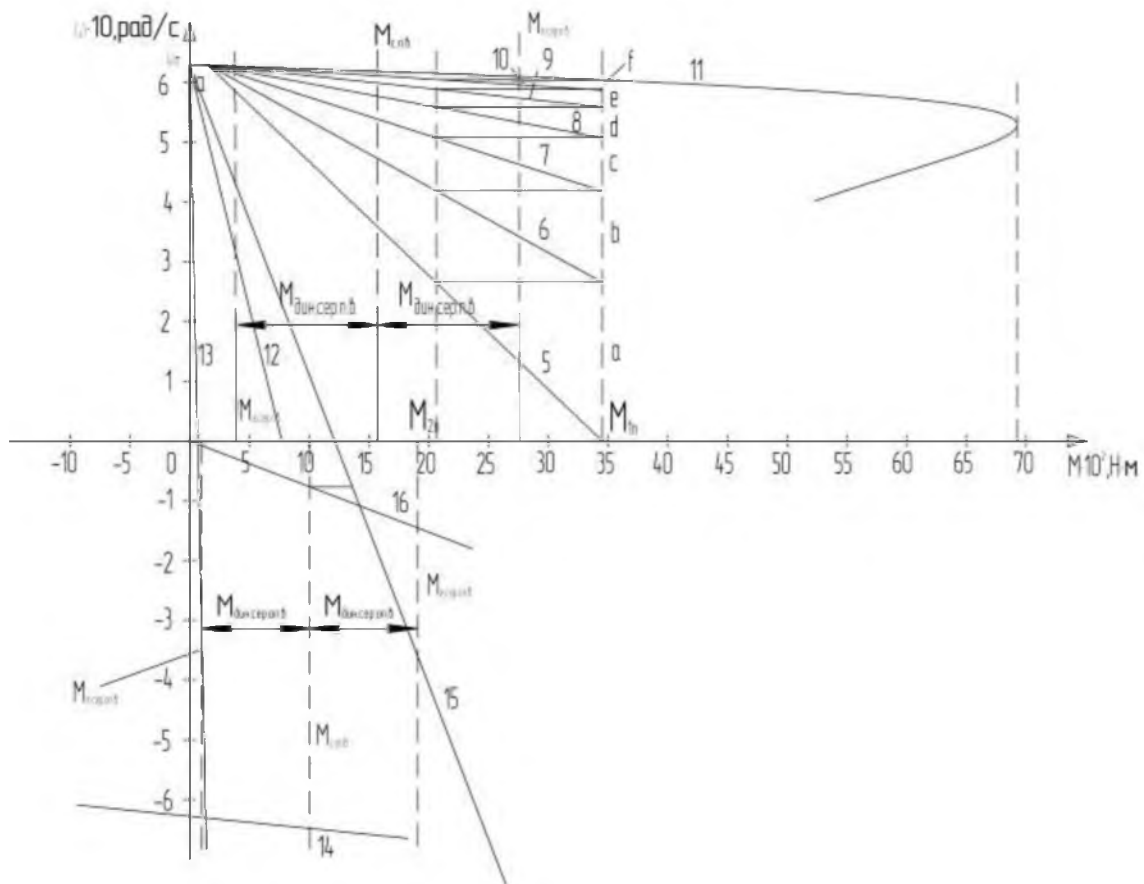


Рисунок 8 – Механічні характеристики при виборі та напуску провису

2.3.4 Підйом та опускання порожнього гака

Момент опору на валу під час підймання гака:

$$M_{с.п.о} = \frac{P_{п.о}}{\omega_{п.о}} = \frac{15030}{61,335} = 245,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Середнє значення динамічного моменту двигуна:

$$M_{\text{дин.сер.но}} = J_{\Sigma \kappa} \frac{2 \cdot k \cdot i_p}{D_{\bar{o}}} a_{no} = 18 \cdot \frac{2 \cdot 6 \cdot 15,34}{0,6} \cdot 0,28 = 1546,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $J_{\Sigma \kappa} = J_{\Sigma} + \frac{G_0}{g} \cdot \left(\frac{D_{\bar{o}}}{2k \cdot i_p} \right)^2 = 18 + \frac{26}{9,81} \cdot \left(\frac{0,6}{2 \cdot 6 \cdot 15,34} \right)^2 = 18 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2.$

Момент, що розвиває двигун під час пуску:

$$M_{n.n.o} = M_{c.no} + 2 \cdot M_{\text{дин.сер.но}} = 245,4 + 2 \cdot 1546,3 = 3337,9 \quad \text{Н} \cdot \text{м},$$

За точками в координатах: $(M = M_{np.no}; \omega = 0)$ та $(M = M_{c.no}; \omega = -\omega_H)$ визначається характеристика 18 (рисунок 9)

Початкове значення гальмівного моменту:

$$M_{z.n.o} \approx -1,3 \cdot (M_{\text{дин.сер.п.о}} - M_{c.n.o}) = -1,3 \cdot (1546,3 - 245,4) = -1691,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За точками в координатах: $(M = M_{z.no}; \omega = \omega_{no})$ та $(M = 0; \omega = -\omega_0)$ визначається характеристика 19 (рисунок 9)

Момент опору на валу двигуна під час опускання гака:

$$M_{c.on.o} = \frac{P_{on.o}}{\omega_{on.o}} = \frac{4860}{61,335} = 79,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Середнє значення динамічного моменту двигуна:

$$M_{\text{дин.сер.оп.о}} = J_{\Sigma \kappa} \frac{2 \cdot k \cdot i_p}{D_{\bar{o}}} a_{on.o} = 18 \cdot \frac{2 \cdot 6 \cdot 15,34}{0,6} \cdot 0,3 = 1656,72 \quad \text{Н} \cdot \text{м},$$

Значення пускового моменту двигуна:

$$M_{n.on.o} = M_{c.on.o} + 2 \cdot M_{дин.ср.on.o} = 79,2 + 2 \cdot 1656,72 = 3392,64 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Початкове значення гальмівного моменту:

$$M_{г.on.o} \approx -1.3 \cdot (M_{дин.ср.on} - M_{c.on.o}) = -1.3 \cdot (1656,72 - 79,2) = -2050,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Графіки механічних характеристик двигуна при підйманні та опусканні гака зображені на рисунку 9.[5]

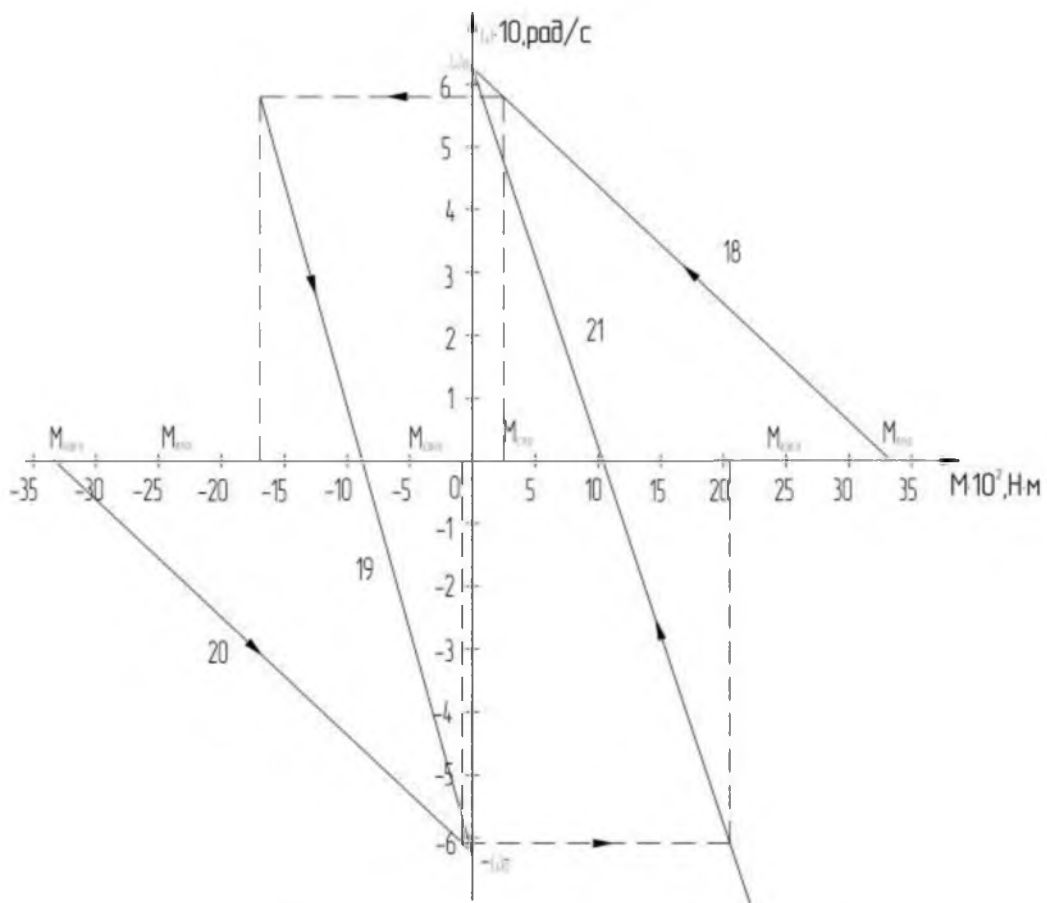


Рисунок 16–Механічні характеристики при підйманні та опусканні п'ястого крюка

Рисунок 9 – Механічні характеристики при підйманні та опусканні п'ястого крюка

2.4 Розрахунок уточнених механічних та швидкісних характеристик двигуна

2.4.1 Розрахунок опорів

Розрахуємо пускові опори.

Розрахуємо масштаб:

$$m_R = \frac{R_{пот} + R_{2\partialоб}}{62.9} = \frac{0,862}{62.7} = 0.015 \text{ Ом / мм},$$

де $R_{пот} + R_{2\partialоб} = \frac{E_{2к} \cdot M_n}{\sqrt{3} \cdot I_{2н} \cdot M_{n1}} = \frac{440 \cdot 2037}{\sqrt{3} \cdot 175 \cdot 3435,5} = 0,868 \text{ Ом},$

Розрахуємо опори для характеристик 5... 11

Опори знаходимо за формулою:

$$R_i = l \cdot m_R,$$

де l – відстань на прямій M_{n1} між пусковими характеристиками.

Отримані результати розрахунків занесені до табл. 2.

Таблиця 2 – Опори секцій при пуску двигуна при підйманні вантажу

$R_i, \text{ Ом}$	$R_5 = 0,362$	$R_6 = 0,21$	$R_7 = 0,122$	$R_8 = 0,07$	$R_9 = 0,0344$	$R_{10} = 0,0162$
$l, \text{ мм}$	26,7	15,34	8,7	5,12	2,86	1,74

Розрахунок ведемо графоаналітичним методом

$$R_{2\partialоб} = R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} = 0.825 \text{ Ом}$$

Розрахунки опорів для всіх характеристик проводяться згідно виразу:

$$R_i = \frac{E_{2H} \cdot M_H}{\sqrt{3} \cdot I_{2H} \cdot M_i},$$

де M_i – момент на характеристиці, коли $\omega = 0$.

Результати розрахунків зведені у табл. 3

Таблиця 3 – Опори роторного кола для різних характеристик двигуна

№ х-ки	1/3	2/4	12	15	18/20	19	21
R_i , Ом	1.348	0.388	0.326	0.513	1.4065	0.369	0.436
M_i	3214	943,2	771,1	1214,7	3347,9	878,7	1029,3

Механічні характеристики було побудовані для всіх режимів, окрім динамічного гальмування:

$$M = \frac{2M_{\kappa} \cdot (1 + a \cdot s_{\kappa})}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s} + 2a \cdot s_{\kappa}}$$

де M, M_{κ} – поточне та критичне значення моментів двигуна;

s, s_{κ} – поточне та критичне значення ковзання;

a – коефіцієнт, який є відношенням $R_c / R'_{2\Sigma}$ (R_c – активний опір фази статора, $R'_{2\Sigma}$ – сумарний активний опір фази роторного кола, приведений до параметрів статора).

Параметри M_{κ} , a та $s_{\kappa} = s_{\kappa.n}$ визначаються за каталожними даними двигуна.

$$S_{\kappa} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (x'_2 + x_1)^2}} = \frac{0.021}{\sqrt{0.0155^2 + (0.063 + 0.0732)^2}} = 0.169$$

$R'_2 = R_{\text{пот}} \cdot k_e^2 = 0.0337 \cdot 0.808^2 = 0.022 \text{ Ом}$ – активний опір ротору, приведений до параметрів статора

x'_2 – індуктивний опір ротору, приведений до параметрів статора

$$x'_2 = x_p \cdot k_e^2 = 0.098 \cdot 0.808^2 = 0.064 \text{ Ом}$$

Розрахунки уточнених механічних та швидкісних характеристик виконуємо в програмному пакеті «Matlab» (рисунок 10, рисунок 11)

Виконаємо побудову швидкісних характеристик для усіх режимів роботи двигуна (окрім динамічного гальмування) за виразом:

$$I_2 = \sqrt{\frac{M \omega_o s}{3 R_{2\Sigma}}},$$

де I_2 – струм ротора;

ω_o – синхронна кутова швидкість двигуна;

M – момент двигуна при ковзанні s .

Швидкісні характеристики приведені на рисунку 10.

Знайдемо значення критичного моменту двигуна:

$$M_{\text{к.д.з}} = 1.5 \cdot M_{\text{с.оп.б}} = 1.5 \cdot 1005.6 = 1363.9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Знаходимо діючий змінний струм фази статора, еквівалентний за намагнічуючою силою постійному струму збудження двигуна:

$$I_e = \sqrt{M_{\text{к.д.з}} \frac{2\omega_o (x_{\text{опоч}} + x'_2)}{3x_{\text{опоч}}^2}} = \sqrt{1005.6 \cdot \frac{2 \cdot 62.8(0.927 + 0.065)}{3 \cdot 0.947^2}} = 219.2 \text{ А},$$

де $x_{\text{опоч}} = \frac{E'_\phi}{I_o} = E_\phi^* \cdot \frac{E_{2н}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_e}{I_o \cdot I_{\text{с.н}}} = 0.13 \cdot \frac{440}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0.809}{0.1 \cdot 286} = 0.938 \text{ Ом}$

Швидкісна $\omega(I'_2)$ та механічна $\omega(I'_2)$ характеристики динамічного гальмування представлені на графіках рис. 10 та рис. 11 відповідно.

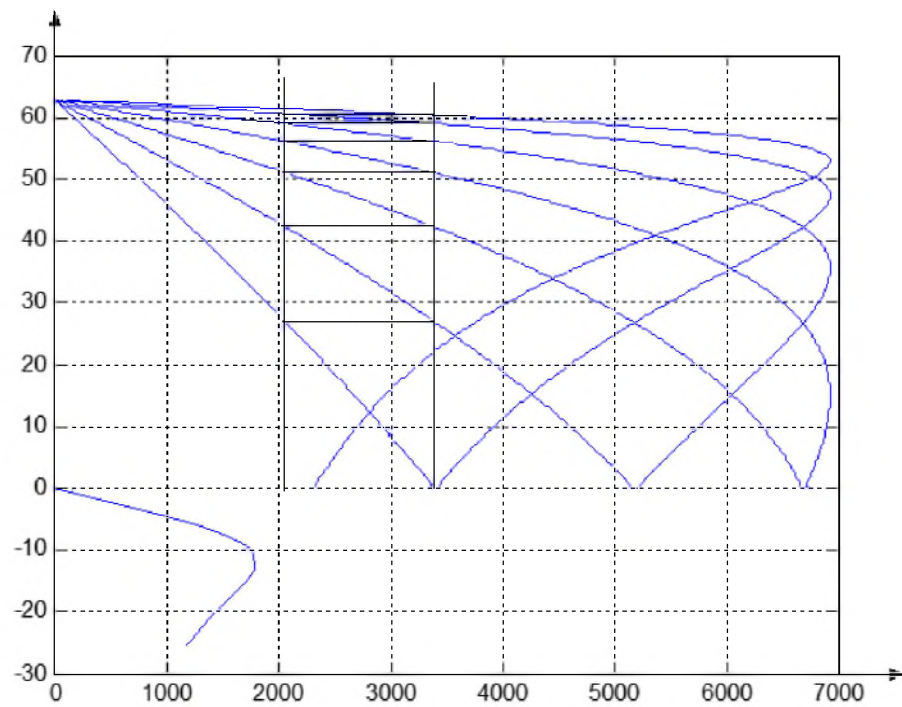


Рисунок 10 – Графіки уточнених механічних характеристик двигуна для випадків підймання та опускання вантажу

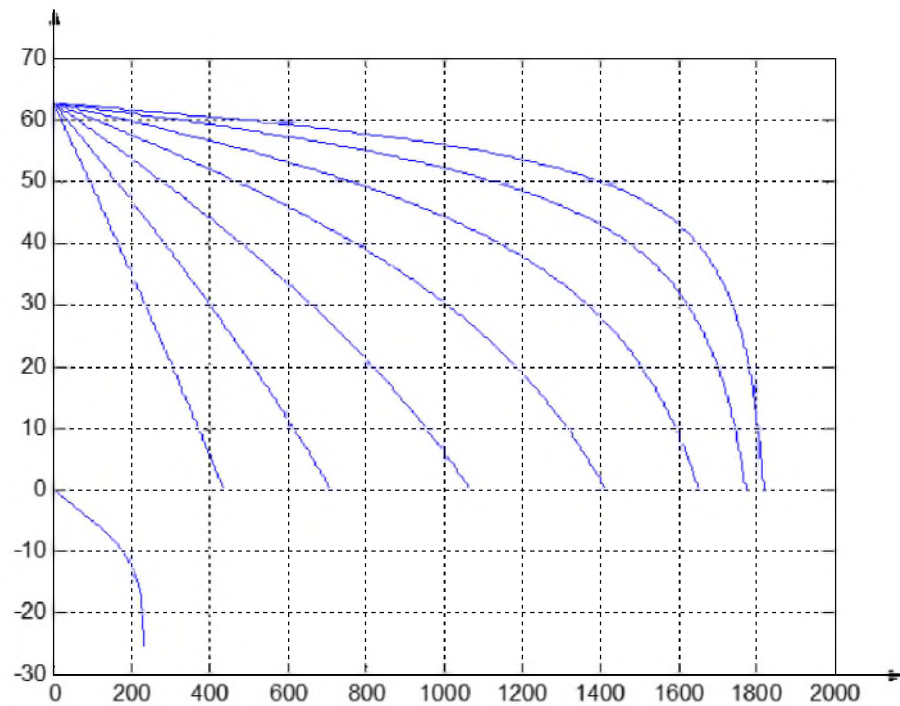


Рисунок 11 – Графіки уточнених швидкісних характеристик двигуна для випадків підймання та опускання вантажу

2.5 Розрахунок перехідних процесів. Побудова навантажувальної діаграми двигуна

2.5.1 Розрахунок перехідних процесів

Перевірку попередньо обраного двигуна за умовами нагріву потрібно провести побудувавши тахограму та навантажувальну діаграму двигуна при урахуванні перехідних процесів в усіх його режимах.[6]

При роботі на характеристиках електромеханічна стала часу електроприводу 6...11, 16 (рис. 8):

$$T_m = J \frac{\omega_o}{M_n} s_{(n)}$$

де $s_{(n)}$ — ковзання двигуна при номінальному моменті.

При роботі на характеристиках 1...4 (див. рисунок 7), 5, 14, 16 (див. рисунок 8):

$$T_M = J \frac{\omega_o}{M_{к.з}},$$

де $M_{к.з}$ – момент КЗ двигуна.

Отримані результати розрахунків постійних електромеханічних часу знесемо до табл. 4.

Час перехідного процесу на пусковій або гальмовій механічній характеристиці:

$$t_{n.n} = T_M \ln \frac{M_{поч} \mp M_c}{M_{кінц} \mp M_c},$$

де $M_{поч}, M_{кінц}$ – початковий і кінцевий в абсолютних одиницях виміру (в точці переходу на іншу характеристику) моменту двигуна.

Знак « $\rightarrow$ » у формулі означає дію моментів M двигуна і моменту опору M_c у зустрічному напрямку, знак « $+$ » – згідно один одному.

Результати розрахунку тривалості перехідних процесів в табл. 5.

Таблиця 4 – Електромеханічні постійні часу привода

Номер хар-ки	Назва характеристики	$J,$ $кг \cdot м^2$	$S_{(u)}$	$M_{кз}, Нм$	$T_u, с$
1/3	Розгін двигуна при виборі провису	8.15	-	3204	0,355
2/4	Гальмування двигуна при виборі провису	8.15	-	945.02	1,197
5	Пуск при підйомі вантажу	9.13	0,41	-	0,238
6		9.13	0,24	-	0,135
7		9.13	0,137	-	0,078
8		9.13	0,078	-	0,043
9		9.13	0,042	-	0,025
10		9.13	0,025	-	0,015
11		9.13	0,017	-	0,009
12	Гальмування при підйомі вантажу	9.13	-	771,2	1,497
14	Опускання вантажу	9.13	0,014	-	0,009
15	Гальмування до посадкової швидкості	9.13	-	1215,5	0,951
16	Опускання вантажу з посадковою швидкістю	9.13	0,732	-	0,415
18/20	Розгін при підйомі пустого гака	8.15	-	3336,9	0,336
19	Гальмування при підйомі пустого гака	8.15	-	877,5	1,287
21	Гальмування при опусканні пустого гака	8.15	-	1098,25	1,027

Таблиця 5 – Розрахунок тривалості перехідних процесів

№ хар- кн	Назва характеристики	$M_{поч},$ H_M	$M_{кін},$ H_M	$M_c,$ H_M	$t_{пр}, c$
1/ 3	Розгін двигуна при виборі провису	3205	159	159	0,833
2/ 4	Гальмування двигуна при виборі провису	1916,1	949,2	159	0,953
5	Пуск при підйомі вантажу	3453,7	2065	1572,6	0,079
6		3453,7	2065	1572,6	0,045
7		3453,7	2065	1572,6	0,026
8		3453,7	2065	1572,6	0,013
9		3453,7	2065	1572,6	0,008
10		3453,7	2065	1572,6	0,005
11		3453,7	1573,7	1572,6	0,004
12	Гальмування при підйомі вантажу	0	771,2	1572,6	1,022
14	Опускання вантажу	0	1007,5	1006,4	0,006
15	Гальмування до посадкової швидкості	2430,5	1363,5	1006,4	0,364
16	Опускання вантажу з посадковою швидкістю	904,1	102,5	1006,4	0,236
18	Розгін при підйомі пустого гака	3337,8	245,5	245,5	0,675
19	Гальмування при підйомі пустого гака	1691,13	877,8	245,5	1,064
20	Розгін при опусканні пустого гака	3337,8	79,3	79,3	1,042
21	Гальмування при опусканні пустого гака	2060	1039,3	79,3	0,749

Розрахуємо початкові та кінцеві значення струму I_2 , для цього знайдемо константу:[7]

$$C = \frac{M_n}{I_n} = \frac{2038}{175} = 11,65 \text{ В} \cdot \text{с}$$

за допомогою цієї константи можливо розрахувати струму: $I = \frac{M}{C}$

Розрахунок перехідних процесів зведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Перехідні процеси

№ хар- кн	Назва характеристики	$t_m, \text{с}$	$\omega_{нач}, \text{с}^{-1}$	$\omega_{кін}, \text{с}^{-1}$	$M_{пoc}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{кін}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$I_{2пoc}, \text{А}$	$I_{2кін}, \text{А}$
1	Розгін двигуна при виборі провису	0,853	0	60,8	3934	108,2	337,682	9,279
2	Гальмування двигуна при виборі провису	0,933	60,8	0	-2346	-1174	-201,37	-100,9
3	Розгін при напуску провису	0,853	0	-60,8	-3934	-108,2	-337,68	-9,279
4	Гальмування при напуску провису	0,933	-60,8	0	2346	1176	201,373	100,85
5	Пуск при підйомі вантажу	0,076	0	28	3453,8	2063	264,64	154,68
6		0,043	28	43	3453,8	2063	264,64	154,68
7		0,026	43	52	3453,8	2063	264,64	154,68
8		0,015	52	56,4	3453,8	2063	264,64	154,68
9		0,009	56,4	59,9	3453,8	2063	264,64	154,68
10		0,006	59,9	61,2	3453,8	2063	264,64	154,68
11		0,005	61,2	61,6	3453,8	1573	264,64	119,74
12	Гальмування при підйомі вантажу	1,011	62,83	0	0	772,4	0	56,721
14	Опускання вантажу	0,007	0	-60,8	0	1006,6	0	77,992
15	Гальмування до посадкової швидкості	0,345	-7,6	0	2430,4	1362,6	189,27	94,85
16	Опускання вантажу з посадковою швидкістю	0,236	-63,33	-7,6	904,2	102,4	77,9914	5,6
18	Розгін при підйомі пустого гака	0,684	0	61	3337,9	245,3	332,704	16,455
19	Гальмування при підйомі пустого гака	1,056	61	0	-1691	-877,2	-184,21	-92,28
20	Розгін при опусканні пустого гака	1,042	0	-61	-3338	-79,4	-355,45	-7,597
21	Гальмування при опусканні пустого гака	0,738	-61	0	2050	1039,6	216,223	109,44

2.6 Перевірка двигуна за нагрівом та перевантажувальною здатністю

Виходячи з того, що на робочих ділянках механічних характеристик струм у роторному колі майже пропорційний моменту, перевіряти за критерієм нагріву попередньо обраний двигуна можемо методом еквівалентного моменту.

За уточненою, яка враховує перехідні процеси, навантажувальною діаграмою двигуна визначимо фактичне значення тривалості вмикання:

$$TB_{\phi} = \frac{\Sigma t_{n.n} + \Sigma t_i}{\Sigma t_{n.n} + \Sigma t_i + t_{\text{зоп.в}} + t_{\text{зоп.о}} + t_{\text{зав}} + t_{\text{роз}}} 100\% =$$

$$= \frac{7,054 + 181,24}{7,054 + 181,24 + 44 + 29 + 25 + 17} 100\% = 62,2 \%$$

де $t_{n.n}$ – час перехідного процесу на окремій механічній характеристиці (через увігнутість кривих $M(t)$ величина $t_{n.n}$ дещо більша за час перехідного процесу).

Номінальні можливі втрати:

$$\nu_n = 3I_{1n}^2 R_c + 3I_{2n}^2 R_p = 3 \cdot 287^2 \cdot 0,0155 + 3 \cdot 175^2 \cdot 0,0336 = 6875 \text{ Вт}$$

Значення загальних номінальних втрат в двигуні:

$$\Delta P_n = \sqrt{3} U_{1n} I_{1n} \cos \phi_n - P_n = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 287 \cdot 0,73 - 125000 = 12415 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт розподілення втрат в двигуні:

$$a = \frac{K}{\nu_n} = \frac{1385}{6875} = 0,2$$

$$\text{де } K = (\Delta P_n - \nu_n) \frac{TB_n}{100} = (12415 - 6875) \cdot \frac{25}{100} = 1385 \text{ Вт}$$

Допустиме значення момент двигуна за критерієм нагріву:

$$M_{\partial on} = M_n \sqrt{\frac{a(TB_n - TB_\phi) + TB_n}{TB_\phi}} = 2038 \sqrt{\frac{0,2(25 - 62,2) + 25}{62,2}} = 1063,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний за сумарний час вмикань двигуна момент:

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum M_{e.n.n}^2 t_{n.n} + \sum M_{ci}^2 t_i}{\sum t_{n.n} + \sum t_i}},$$

де $M_{e.n.n}$ – еквівалентне за критерієм нагріву значення моменту в перехідному режимі,

$$M_{e.n.n} \approx \sqrt{(M_{поч}^2 + M_{кінц}^2 + M_{поч} M_{кінц}) / 3}$$

M_{ci} – момент, що створює двигун на i – ому відрізка статичного навантаження із тривалістю t_i .

Отримані результати розрахунку еквівалентного за нагрівом моменту приведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Розрахунок еквівалентного за нагрівом моменту.

№ хар-ки	$M_{поч}, \text{ Н} \cdot \text{м}$	$M_{кін}, \text{ Н} \cdot \text{м}$	$M_{enn}, \text{ Н} \cdot \text{м}$
1 (3)	3204	158	1891,7
2 (4)	1916	948,1	1458,6
5–10	3458,3	2064	2788,7
11	3454,8	1527,1	2572,1
12	0	772,1	445,84
14	0	1005,6	582,1

Продовження таблиці 7

15	2430,1	1362,3	1921,4
16	904,1	102,2	553,95
18	3337,8	245,5	2001,6
19	1691,14	877,8	1305,5
20	3337,8	79,3	1950,5
21	2051	1039,26	1571,8

Еквівалентний за сумарний час вмикань двигуна момент:

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum M_{e.n.n}^2 t_{n.n} + \sum M_{ci}^2 t_i}{\sum t_{n.n} + \sum t_i}} = \sqrt{\frac{137,6 \cdot 10^6 + 18,29 \cdot 10^6}{166,1}} = 969,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проведемо оцінювання теплового стану двигуна шляхом порівняння:

$$M_e \leq M_{дон}$$

$$969,8 \leq 1062,6$$

Двигун проходить за критерієм нагріву (не перегрівається)

Перевірка двигуна за умовою допустимого механічного перевантаження ведеться шляхом порівняння найбільшого фактичного і максимального моментів:

$$M_{ф.мах} \leq 0,9 M_{\kappa}$$

$$3458,3 \leq 6235,9$$

Обраний двигун проходить за перевантажувальною здатністю.

2.7 Тепловий розрахунок та вибір опорів, складання схем з'єднання стандартних ящиків опорів

Еквівалентне за нагрівом значення струму резисторів на ділянках перехідних процесів при різних режимах роботи:

$$I_{2e.n.n} \approx \sqrt{\frac{(I_{2поч}^2 + I_{2кін}^2 + I_{2поч} I_{2кін})}{3}}$$

Результати розрахунків відбиваємо в таблицю 8.

Таблиця 8 – Еквівалентний за нагрівом струм для різних режимів роботи

№ хар-ки	$I_{2поч}, A$	$I_{2кін}, A$	$I_{2епп}, A$
1 (3)	275,1	13,55	162,83
2 (4)	164,32	81,41	125,27
5–10	296,77	177,17	239,32
11	296,77	134	220,72
12	0	66,27	38,27
15	208,54	116,95	164,8
16	77,68	8,79	47,58
18	286,45	21,05	171,8
19	145,72	75,33	112,1
20	286,51	6,78	167,4
21	175,93	89,21	134,9

Опори, що задіяні у різних режимах роботи наведені у табл. 9.

Таблиця 9 – Опори ротора штучних характеристик двигуна

№ х-ки	1/3	2/4	5	6	7	8	9
R_i	1.348	0.397	0.858	0.492	0.284	0.162	0.092
№ х-ки	11	12	15	18/20	19	21	
R_i	0,0532	0.3254	0.5142	1.4064	0.3685	0.4367	

Опори секцій, завдяки використанню яких збирають необхідні опори у різних режимах роботи й опори секцій, що перераховані на холодний опір.

Таблиця 10 –Перераховані значення опорів

№ х-ки	10	9	8	7	12	19	2/4
Ri	0,0524	0,0396	0,0693	0,121	0,04	0,04	0,02
Ri 20°	0,042	0,032	0,054	0,094	0,035	0,033	0,017
№ х-ки	21	6	15	5	1/3	18/20	
Ri	0,0475	0.0533	0.02	0,347	0,49	0,056	
Ri 20°	0,037	0,041	0,016	0,27	0,382	0,043	

Еквівалентний по теплоті струм за час знаходження резистора під струмом:

$$I_{e.m} = I_p = \sqrt{\frac{\sum I_{2e.n.n}^2 t_{n.n} + \sum I_{2ci}^2 t_i}{\sum t_{n.n} + \sum t_i}}$$

Відносна тривалість включення:

$$TB = \frac{t_{вкл}}{t_{ц}} 100\%$$

де $t_{вкл}$ – загальний час перебування резистора під дією струму в межах тривалості $t_{ц}$ циклу.[8]

Еквівалентний за теплотою тривалий струм:

$$I_{e.m.трив} \geq I_p \sqrt{TB / 100}$$

із каталога-довідника попередньо вибирається стандартний ящик резисторів з допустимим у тривалому режимі струмом $I_{дон} \geq I_{e.m.трив}$ та значення

сталої часу нагріву T ящика. Для знайдених значень сталої T обчислюються відношення $t_{екл} / T$

Вибраний ящик задовольняє умовам за перевищеннями температури, якщо:

$$I_{дон} \geq I_{e.n} = \left(\frac{I_{e.n}}{I_p} \right) I_p.$$

Складено схеми з'єднань резисторів – рисунок 12.

Результати вибору резисторів зведені у таблицю 10.

Таблиця 10 – Вибрані ящики опорів

№ х-кп	I_p, A	$TB, \%$	Обраний ящик			$\frac{t_{екл}}{T}$	$\frac{I_{en}}{I_p}$	I_{en}, A
			№	$I_{дон}, A$	T, c			
10	70,75	39,64	ЯС100№80	54	551	0,22	0,67	47,38
9	70,71	39,64	ЯС100№80	54	551	0,22	0,67	47,374
8	70,68	39,64	ЯС100№80	54	551	0,22	0,67	47,357
7	70,64	39,64	ЯС100№80	54	551	0,22	0,67	47,328
12	74,9	26,22	ЯС100№110	46	442	0,18	0,57	42,694
19	75,26	25,88	ЯС100№110	46	442	0,18	0,57	42,899
2/4	74,62	25,53	ЯС100№110	46	425	0,18	0,5	37,311
21	77,09	20,44	ЯС100№110	46	425	0,14	0,5	38,543
6	76,11	20,11	ЯС100№110	46	425	0,14	0,5	38,054
15	75,86	20,12	ЯС100№110	46	425	0,14	0,5	37,931
5	75,03	20,04	ЯС100№110	46	425	0,14	0,5	37,513
1/3	74,58	20,02	ЯС100№110	46	425	0,14	0,5	37,192
18/20	32,9	18,91	ЯС100№110	46	425	0,13	0,48	15,791
10	70,72	39,64	ЯС100№110	54	551	0,22	0,67	47,34

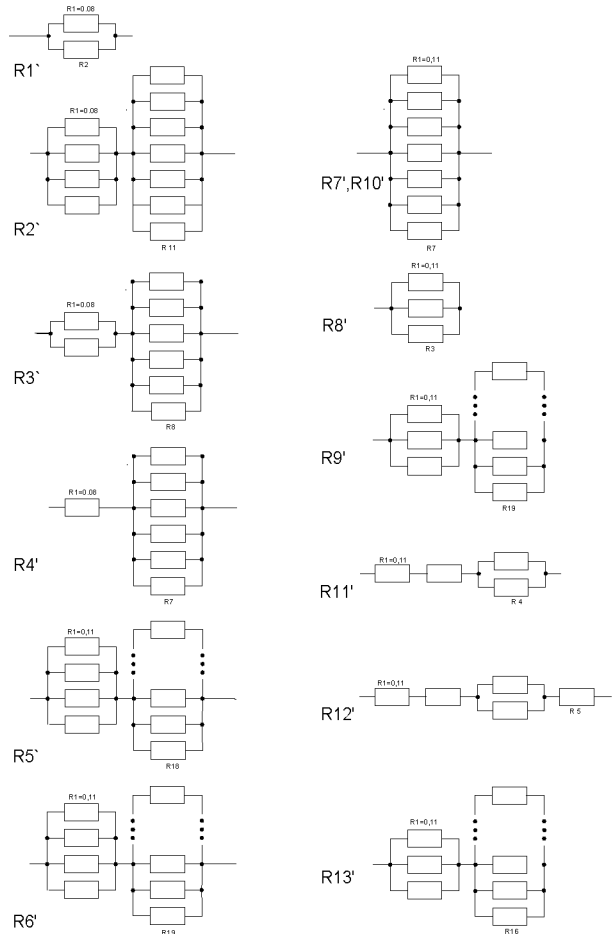


Рисунок 12 – Схеми з’єднань резисторів секцій

Таблиця 11 – Вибір резисторів секцій

№ секцій	№ ящика	Опори, Ом		Тривалий струм ввімкнення	
		потрібне	підібране	потрібне	підібране
1	ЯС100№80	0,042	0,05	44,53	54
2	ЯС100№80	0,0312	0,0313	44,52	54
3	ЯС100№80	0,055	0,052	44,51	54
4	ЯС100№80	0,094	0,094	44,45	54
5	ЯС100№110	0,036	0,0353	38,36	46
6	ЯС100№110	0,035	0,0346	38,21	46
7	ЯС100№110	0,017	0,0156	37,7	46
8	ЯС100№110	0,036	0,038	34,85	46

9	ЯС100№110	0,043	0,044	34,2	46
10	ЯС100№110	0,015	1,21	34,27	46
11	ЯС100№110	0,265	0,276	33,29	46
12	ЯС100№110	0,383	0,126	33,48	46
13	ЯС100№110	0,045	0,046	14,35	46

2.8 Розрахунок споживаної електроенергії за один цикл роботи електропривода

Значення споживаної електроенергії за один цикл роботи визначається за виразом

$$W_{\text{спож}} = \frac{10^{-6}}{3,6} \omega_O \Sigma M_{\text{сер.}i} t_i \text{ кВт} \cdot \text{рік},$$

де ω_O – кутова синхронна швидкість обертання двигуна, рад/с;

$M_{\text{сер.}i}$ – середнє значення моменту двигуна на i – $i\text{й}$ ділянці навантаження Н·м;

t_i – тривалість i – $i\text{ї}$ ділянки, с.

$$\begin{aligned} W_{\text{спож}} &= \frac{10^{-6}}{3,6} \omega_O \Sigma M_{\text{сер.}i} t_i = \frac{10^{-6}}{3,6} 62,83 (1064 \cdot 1.1 + 1395.2 \cdot 118.9 + 330.4 \cdot 1.5 + \\ &+ 798.6 \cdot 1.1 + 908.6 \cdot 103.3 + 1707.2 \cdot 1.3 + 4 \cdot (1913 \cdot 0.5 + 108.1 \cdot 2.8 + 2346 \cdot 0.5) + \\ &+ 1842.1 \cdot 0.6 + 191.7 \cdot 115.5 + 2145.5 \cdot 0.6 + 2026.3 \cdot 0.5 + 88.5 \cdot 107.6 + 2519.1 \cdot 0.5) = \\ &= 2.5 \text{ кВт} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

Питома споживана електроенергія (на тону корисного вантажу) за цикл

$$W_{\text{нм}} = \frac{W_{\text{спож}}}{G} 9,81 = \frac{2.5}{230.2} 9,81 = 0.107 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}},$$

де G – вантажопідйомність лебідки, кН.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Для моделювання електроприводу вантажопідйомної лебідки мостового крана скористаємось бібліотекою Simulink пакета прикладних програм Matlab.

У версії R2021a є блок Asynchronous Machine SI Units вкладка параметрів якого представлена на рисунку 13. Для того аби промодельовати асинхронний двигун з фазним ротором під навантаженням треба визначити необхідні параметри двигуна за декілька дій.

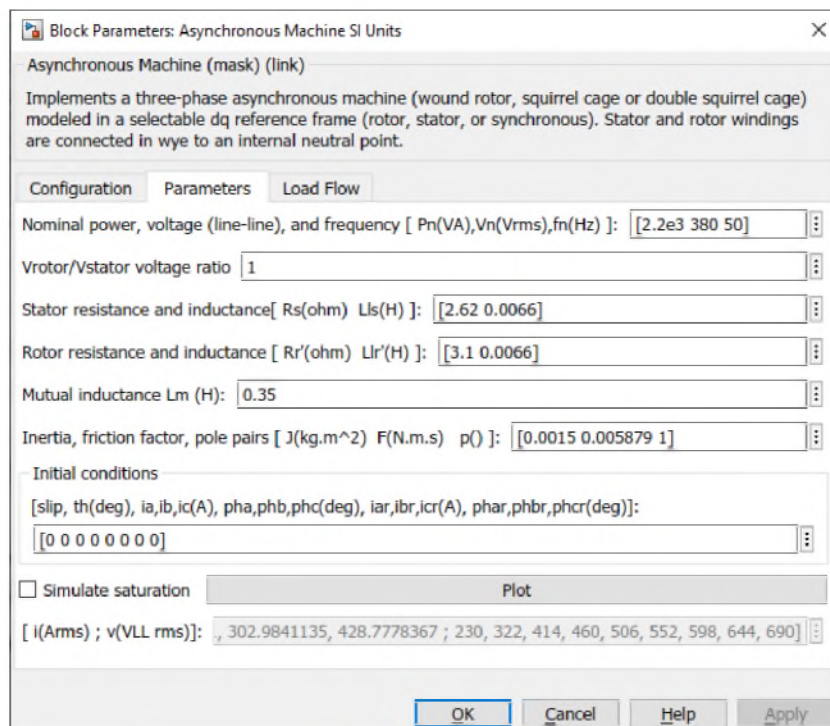


Рисунок 13 – Вікно параметрів блоку Asynchronous Machine SI Units

Швидкість обертання магнітного поля:[9]

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$$

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Номінальна кутова швидкість обертання ротора:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

Кутова швидкість обертання магнітного поля:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}$$

Номінальний, максимальний і пусковий моменти:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

$$M_{\text{макс}} = m_{\text{макс}} \cdot M_n$$

$$M_n = m_n \cdot M_n$$

Критичне ковзання:

$$s_{kp} = s_n \left(m_{\text{макс}} + \sqrt{m_{\text{макс}}^2 - 1} \right)$$

Приведений активний опір ротора:

$$R_r = \frac{1}{3} \frac{(P_n + \Pi_{\text{мех}})}{I_n^2 \frac{1 - s_n}{s_n}}$$

Якщо знехтувати втратами в феромагнітному осерді та додатковими втратами в машині, можна вважати, що потужність, що виділяється в активному опорі статорної обмотки, визначається виразом:

$$P_{el1} = 3 \cdot U \cdot I_n \cdot \cos \varphi (1 - \eta) - 3 I_n^2 R_r C^2 - P_{mex} = 3 I_n^2 R_s$$

Звідси знаходимо величину активного опору статора:

$$R_s = \frac{U_\phi \cos \varphi (1 - \eta)}{I_n} - C^2 R_r - \frac{P_{mex}}{3 I_n^2}$$

де $U_\phi = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$

Приведена індуктивність розсіяння ротора:

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U_\phi}{4\pi f_1 (1 + C^2) k_l I_n}.$$

Індуктивність статора:

$$L_s = \frac{U_\phi}{2\pi f_1 I_n \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi f_1 M_{max}}{pU} \cdot \frac{s_n}{s_k}}$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_m = L - L_{sp}$$

Визначення коефіцієнта приведення C_1 проводиться після розрахунку параметрів за формулою:

$$C_1 = 1 + \frac{L_{sp}}{L_m}.$$

Отримане значення порівнюється з прийнятим C , і за необхідності робиться перерахунок.

Для автоматизації та пришвидшення розрахунків можна скористатися засобами Matlab. Напишемо наступний скрипт:

Лістинг 1

```
Pn=132e3;Un=380;f=50;n=586;eff=0.916;cosfi=0.78;
In=280;Ik=6.5;mk=2.9;mmax=3.4;
J=14.2;p=1;
Uf=Un/sqrt(3);n1=60*f/p;sn=(n1-n)/n1;
sk=(mmax+sqrt(mmax^2-1))*sn;
w1=2*pi*f;w=pi*n/30;Mn=Pn/w;
for c=1:0.01:1.08;
Rr=(1.015*Pn)/(3*In^2*((1-sn)/sn));
Rs=((Uf*cosfi*(1-eff))/In)-(Rr*c^2)-(0.015*Pn/(3*In^2));
Ll=Uf/(2*w1*(1+c^2)*Ik*In);
Ls=Uf/(w1*In*sqrt(1-cosfi^2)-(2*w1*mmax*Mn*sn/p)/(3*Uf*sk));
Lm=Ls-Ll;
c1=1+Ll/Lm;
[Rs Rr Ll Lm c c1];
end
```

Виконавши цей скрипт ми отримаємо потрібні дані для внесення у вкладку параметрів блоку Asynchronous Machine SI Units.

Схема для моделювання приведена на рисунку 14. Тут задання на момент подається за допомогою блоку Step, а опір в колі ротора змінюємо в блоках Series RLC Branch.

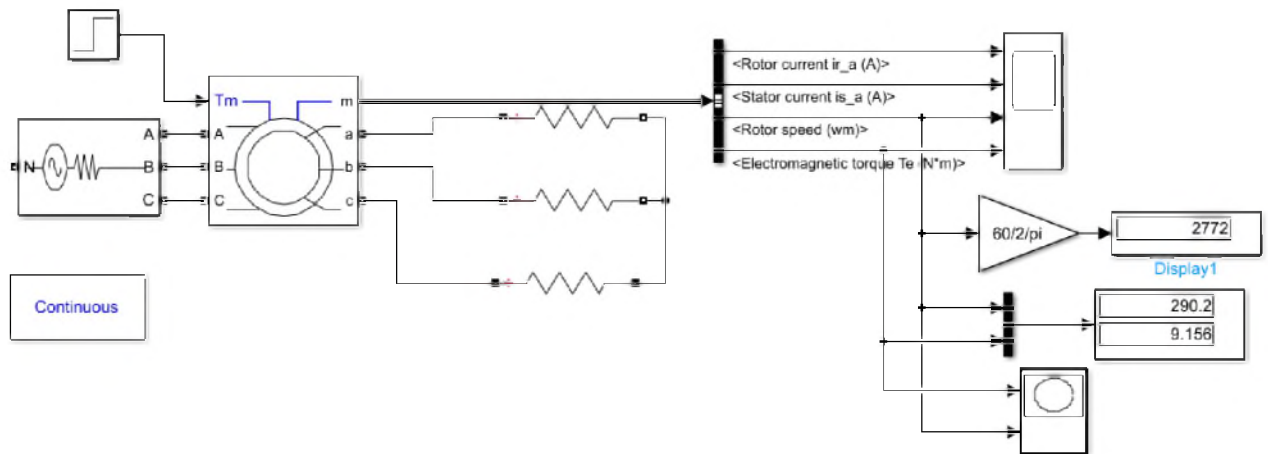


Рисунок 14 – Схема для дослідження асинхронного двигуна з фазним ротором при різних навантаженнях

Змінюючи параметри в колі ротора та величину моменту статичного опору отримуємо необхідні точки механічних кривих. Результати представлені на рисунку 15.[10]

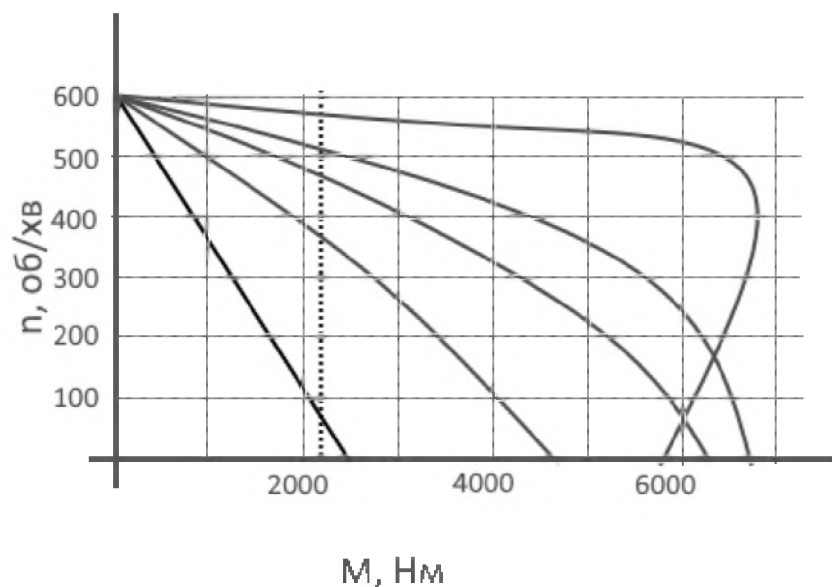


Рисунок 15 – Механічні характеристики за результатами моделювання

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи була розроблена та досліджена система електроприводу для підйомної лебідки мостового крану.

Розробка електропривода підйомної лебідки була виконана наступним чином:

Побудовані діаграми статичного навантаження та зроблений попередній вибір асинхронного двигуна за довідником для даної системи електропривода;

Визначені режими роботи двигуна для заданих технологічних умов. Розраховані та побудовані статичні характеристики двигуна для різних режимів роботи двигуна. Розраховані опори допоміжних резисторів.

Проведені розрахунки та побудовані графіки перехідних процесів при роботі двигуна. Побудовані діаграми навантажень двигуна враховуючи перехідні процеси.

Перевірка двигуна по нагріву та перевантажувальній здатності. Тепловий розрахунок і вибір резисторів, складання схеми з'єднання стандартних ящиків опорів. Визначені витрати електроенергії за цикл роботи електродвигуна.

Зібрана схема електроприводу в Matlab, зняті та побудовані механічні характеристики.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины / В.Ф. Гайдамака. – К.: Выща школа, 1989. – 328 с.
2. С.П. Колесніченко "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" денної, прискореної та заочної форм , 2013. – 37 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985- 560 с.
4. М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича, Теорія електропривода, Вища школа, 1993. – 494 с.
5. Иванченко Ф. К., и др. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин, – К.: Вища школа, 1978. – 576 с..
6. Чиликин М. Г. Теория автоматизированного электропривода - М.: Энергия, 1979.- 616с., ил..
7. Кравчик А. Э., Шлаф М. М., Асинхронные двигатели серии 4А. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с..
9. ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничних приміщень».
10. ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничного шуму, ультразвуку та інфразвуку» .

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Забезпечення безпеки праці при роботі мостового крана

На кранівника під час роботи крана можуть впливати небезпечні (викликають травми) і шкідливі (викликають захворювання) виробничі фактори. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори регламентуються ДСТУ 12.0.003-74

Безпека праці при підйомі і переміщенні вантажів в значній мірі залежить від конструктивних особливостей підйомно-транспортних машин і відповідність їх правилам і нормам техніки безпеки Держгіртехнагляду.

До небезпечних фізичних факторів належать: рухомі машини і механізми; різні підйомно-транспортні пристрої і переміщувані вантажі; незахищені рухливі елементи виробничого обладнання (привідні і передавальні механізми, ріжучі інструменти, що обертаються і переміщаються пристосування і ін.); відлітають частки оброблюваного матеріалу та інструменту, електричний струм, підвищена температура поверхонь обладнання і матеріалів, які обробляє і т.д.

Шкідливими для здоров'я фізичними факторами є: підвищена або знижена температура повітря робочої зони; високі вологість і швидкість руху повітря; підвищені рівні шуму, вібрації, ультразвуку та різних випромінювань - теплових, іонізуючих, електромагнітних, інфрачервоних і ін. До шкідливих фізичних факторів належать також запиленість і загазованість повітря робочої зони;

4.2 Безпека та умови праці при експлуатації крана

В процесі роботи крана може статися: обрив канату, схід крана з рейки, угон крана при сильному вітрі, що може привести до серйозних наслідків.

Для виключення можливості уgonу крана при сильному вітрі, на крані встановлюється пристрій проти уgonу.

Також на крані встановлюються прилади, що включають попереджувальний звуковий сигнал і сигнальну лампу при швидкості вітру 20 м/с і більше.

Для виключення обриву канату, при підйомі вантажу, вага якого перевищує номінальну вантажопідйомність більш ніж на 10%, передбачений обмежувач вантажопідйомності, автоматично вимикаючий механізм підйому при перевищенні номінальної вантажопідйомності, а також при збільшенні навантаження на вантажні канати вище допустимої від зсуву центру тяги грейфера, для виключення натягу і обриву канату при підйомі вантажу на неприпустиму висоту передбачений обмежувач висоти підйому.

Щоб уникнути сходу крана з рейок, в кінці шляху передбачені кінцеві вимикачі механізму пересування крана, які встановлені таким чином, що привід відключається дещо раніше, ніж відбувається контакт коліс крана з обмежувальним пристроєм. Ця відстань дорівнює половині гальмівного шляху крана.

4.3 Попереджувальні засоби обслуговуючого персоналу

З метою попередження обслуговуючого персоналу, що знаходиться в безпосередній близькості від працюючого крана, при його пересуванні включається автоматично звуковий сигнал. Також звуковий сигнал включається при пересуванні вантажного візка.

Небезпека, що виникає при знаходженні людей на проїзній будові крана, виключається за допомогою автоматичного блокування дверей під час роботи крана.

З метою безпеки доступу до механізмів, запобіжним пристроєм, електроустаткування передбачені майданчики, сходи, огорожі по конструкції і розмірам відповідають Правилам Держгіртехнагляду.

Для виключення можливості попадання людини в зону роботи механізмів, всі висувні частини механізмів і електроустаткування міцно закріплені і закриті огороженнями.

4.7 Пожежна безпека при експлуатації крана

Небезпечними факторами пожежі, які впливають на людей, є: відкритий вогонь, іскри, підвищена температура навколишнього середовища, предметів і т.д., токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, що

потрапляють частинки будівельних конструкцій, агрегатів, установок і т.д. Для забезпечення пожежної безпеки мостового крана використовуються наступні заходи: вся апаратура керування розміщена в герметизованому контейнері, електродвигуни всіх механізмів мають ступінь захисту від зовнішнього середовища.

При цьому робоча t° обмоток шляхом створення запасу за струмом 10 % становить менше 140°C (t° поверхні менше 100°C).

Електроприводи кранів мають глибоке регулювання швидкостей. У зв'язку з цим, навантаження гальм мінімальна, t° гальмівних колодок в робочому режимі не перевищує допустиму, резистори обрані зі стандартних блоків з розрахунком, щоб t° поверхні активних частин не перевищувала 185°C .

З метою забезпечення пожежної безпеки, в кабіні передбачений вуглекислотний вогнегасник, який використовується з метою гасіння електропроводки і електроустаткування.

4.8 Електробезпека при експлуатації крана

До складу мостового крана входить двигун МТКН 512-6 з потужністю 55 кВт, частотою обертання 925 об/хв. Живлення здійснюється від напруги 6 кВт з ізолюваною нейтраллю.

Згідно «Правилам улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») виконані такі групи заходів з електробезпеки:

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою їх ізоляції та захисних оболонок. Згідно з ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» у приладах II класу захисту використовується подвійна ізоляція – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції. Так як згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» офісні приміщення у більшості своїй відносяться до класу пожежебезпечної зони П-Па (приміщення, в яких містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання IP44. Схемно-конструктивні заходи. Призначені для забезпечення

захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій. Згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» у приміщеннях галузі управління персоналом влаштовується занулення.

Мостовий кран, вантажопідйомністю 80 т, призначений для роботи в сталеплавному цеху від 3-х фазного змінного струму напругою 380 В і частотою 50 Гц. Попадання людини під напругу може статися при обриві проводу, порушення ізоляції, оголення проводів і пуску регулювальної апаратури.

При огляді і техобслуговуванні крана рубильник повинен бути відключений.

Відсутність огорож від струмопровідних шинопроводів і трал, а також несправність сигнальних електроламп вказують на наявність напруги, може привести до електротравми. У разі проходження електричного струму через організм людини, він надає термічне, електролітичні дії, викликаючи місцеві і загальні електротравми.

В мостових кранах передбачено захисне заземлення, що представляє собою навмисне з'єднання з землею металевих частин обладнання, що знаходяться під напругою в звичайних умовах, але які можуть опинитися під ним в результаті порушення електроізоляції установки. Захист головних електричних ланцюгів крана здійснюється захисними пристроями з використанням автоматичних включень з високою комутаційною захисною здатністю.