

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ ТА МЕХАТРОНІКИ



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Модернізація електроприводу кранер-крану»

Здобувач: Сторожишин С. С.

II курсу, групи АЕМт-20

Керівник: доцент Ревенюк Т. А.

Кваліфікаційна робота бакалавра допускається до захисту.

Рішення кафедри від «_____» _____ 2024 р., протокол №_____.

Завідувач кафедри ЕтаМ _____ Петро ОСАДЧУК

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизації та робототехніки

Кафедра: Електромеханіки та мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 14 – Електрична інженерія

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Інтелектуально-керовані електромеханічні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ

д.т.н., доц. Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА здобувачу вищої освіти Сторожинину Сергію Сергійовичу

Тема роботи: «Модернізація електроприводу кратцер-крана».

Керівник роботи: Ревенюк Тетяна Анатоліївна, к.ф.-м.н., доцент.

2 Затверджено наказом ОНТУ № 797-03 від 19.12.2023 р.

Строк подання студентом роботи: 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Привід переміщення крана ПК-6.3.000, ходовий крановий візок У2260.30-2.00.000

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

Вступ. 1. Загальна частина. Технічні характеристики стрічкового транспортеру.

2 Розрахунково-конструкторська частина. Опис технологічної схеми стрічкового транспортеру.

3 Дослідження роботи електроприводу стрічкового транспортеру на моделі.

4. Організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування та техніка безпеки праці при обслуговуванні електроприводу стрічкового транспортеру.

5 Економічна частина. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електро-приводу.

6. Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5 Перелік демонстраційного матеріалу: слайди презентації (12 шт.): 1 Титульний. 2 Мета, задачі, методи. 3 Технологічна схема стрічкового транспортеру 4 Розрахунок потужності двигуна, технічні характеристики. 5 Статичні характеристики електроприводу. 6 Структурна схема перетворювача частоти. 7 Принципова електрична схема силової частини. 8 Модель електроприводу стрічкового транспортеру з прямим пуском. 9 Результати моделювання приводу з прямим пуском. 10. Модель модернізованого електроприводу стрічкового транспортеру. 11 Результати моделювання приводу після модернізації. 12 Висновки.

6 Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання: 07.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Прим.
1	Вступ. Загальна характеристика роботи. Актуальність теми. Об'єкт і мета роботи.	06.03.2024	
2	Розрахунково-конструкторська частина. Опис технологічної схеми кратцер-крану. Загальна характеристика кратцер-крану, як об'єкта управління. Опис принципу дії, конструкції та кінематичної схеми привода кратцер-крану. Параметрична схема та методи регулювання швидкості обертання електроприводу кратцер-крану. Формулювання вимог до електроприводу кратцер-крану, обґрунтування типу двигуна, розрахунок його потужності. Розрахунок статичних характеристик двигуна.	19.04.2024	
3	Дослідження роботи електроприводу кратцер-крану на моделі. Обґрунтування вибору, розробка структурних і функціональних схем та розрахунок параметрів окремих елементів системи електроприводу кратцер-крану. Опис системи ПЧ-АД. Моделювання динамічних режимів електромеханічної системи електроприводу кратцер-крану до і після модернізації.	18.05.2024	
4	Організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування та техніка безпеки праці при обслуговуванні електроприводу кратцер-крану.	02.06.2024	
5	Економічна частина. Розрахунок економічної ефективності від модернізації електроприводу.	12.06.2024	
6	Висновки і рекомендації за прийнятими в роботі рішеннями.		
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	17.06.2024	
8	Перевірка роботи на добросовісність. Рецензування роботи	18.06.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06.2024	

Здобувач-дипломник _____ Сторожини С. С.

Керівник _____ Ревенюк Т. А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної добросовісності.

Здобувач-дипломник _____ Сторожинин С. С.

РЕФЕРАТ

Сторожишин Сергій Сергійович «Модернізація електроприводу стрічкового транспортеру». Кваліфікаційна робота бакалавра. Одеса: ОНТУ, 2024. – 72 с. Іл.: 21. Табл.: 5.

У кваліфікаційній роботі описано автоматизований електропривод кратер-крану, області його застосування та конструктивні особливості. Сформульовано вимоги до електроприводу, розраховано навантаження та обрано двигун для приводу кратер-крана.

Вибрано систему електроприводу «перетворювач частоти - асинхронний двигун», обрано та досліджено закон керування за допомогою перетворювача частоти.

Розраховано електричні параметри схеми вмикання двигуна. Змодельовані перехідні процеси двигуна при прямому пуску та в комбінації з перетворювачем частоти, побудовано механічні та електромеханічні статичні характеристики.

Розраховано економічний ефект від модернізації електроприводу ходового візку кратцер-крану, та наведено заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: кратцер-кран, ходовий крановий візок, автоматизований електропривод, перетворювач частоти, математична модель, частотне регулювання обертів, механічна характеристика.

ABSTRACT

Serhii Serhiyovych Storozhyshyn "Modernization of the electric drive of the belt conveyor". Bachelor's qualifying work. Odesa: ONTU, 2024. – 72 p. Illustration: 21. Table: 5.

The qualification work describes the automated electric drive of the crater crane, its areas of application and design features. The requirements for the electric drive were formulated, the load was calculated, and the motor for driving the crater crane was selected.

The electric drive system "frequency converter - asynchronous motor" was selected, the law of control using the frequency converter was selected and investigated. The electrical parameters of the engine start-up circuit are calculated.

Transient processes of the engine during direct start and in combination with a frequency converter are simulated, mechanical and electromechanical static characteristics are constructed.

The economic effect of the modernization of the electric drive of the conveyor of the firing furnace is calculated, and measures for occupational health and safety are given.

Key words: kratzer-crane, traveling crane trolley, automated electric drive, frequency converter, mathematical model, frequency regulation of revolutions, mechanical characteristics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Опис процесу роботи кратцер-крану порталного.	10
1.2 Конструкція та характеристики ходового кранового візку.	14
1.3 Короткий опис та конструкція редукторного привіду ПК-6.3.000.	16
1.4 Загальна характеристика електроприводу візка У2260.30.	18
2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	20
2.1 Вимоги до ходового візку.....	20
2.2 Розрахунок потужності та вибір двигуна.	21
2.3 Механічна характеристика двигуна.	24
2.4 Розрахунок параметрів лінії живлення.	28
2.5 Розрахунок та вибір захисного обладнання.	30
2.6 Спрощена схема включення електродвигуна.....	33
2.7 Переваги перетворювача частоти.	35
2.8 Вибір перетворювача частоти.	39
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДВИГУНА	46
3.1 Математичне представлення електродвигуна.	46
3.2 Розрахунок параметрів двигуна для математичної моделі.....	47
3.3 Математична модель прямого пуску.	50
3.4 Математичне моделювання роботи із перетворювачем частоти.	53
4 РОЗДІЛ ПРО МОНТАЖНІ ТА РЕМОНТНІ РОБОТИ	56
4.1 Організація монтажу електроприводу порталного кратцер-крану.....	56
4.2 Організація робіт з модернізації.....	57
4.3 Організація робіт з обслуговування та ремонту.....	58
4.4 Безпека та охорона праці при проведенні робіт на порталному крані.	60

					КРБ.ЕтаМ.141.797-03.9		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Сторожинин				Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Ревенюк Т.А.						
Зав.кафедри	Осадчук П.І.				Модернізація електроприводу стрічкового транспортеру ОНТУ, АЕМт-20а		

5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	62
5.1	Визначення економічної ефективності.....	62
5.2	Розрахунок економічних показників.	64
5.4	Розрахунок витрат на обслуговування та електроенергію.	67
	ВИСНОВКИ	70
	Список Літератури	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

За останні роки суттєво змінилися вимоги до енергоефективності виробничого обладнання. Враховуючи геополітичний та економічний стан України в цілому і енергетичної галузі зокрема, заощадження та ефективне використання електроенергії виходить на передній план як при проектуванні нового, так і модернізації вже наявного обладнання на виробництвах.

В будь-якій галузі промисловості, на кожному виробництві, використовуються електроприводи, тобто різноманітні види електродвигунів. Це може бути як рухоме виробниче обладнання, пересувні крани, навантажувачі, різноманітні транспортні засоби, так і нерухоме (встановлене стаціонарно), зокрема верстати, компресори, системи вентиляції тощо.

В роботі виконано обґрунтування та розрахунок електроприводу ходового візка кратцер-крана.

Актуальність теми: Впровадження частотно-регулюючі системи керування дозволяє суттєво підвищити продуктивність виробництва, шляхом створення відповідних алгоритмів керування приводом.

Об'єкт дослідження: Методи підвищення надійності та енергоефективності трифазних асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором.

Предмет дослідження: Модернізація електроприводу ходового візка кратцер-крана та впровадження сучасних ефективних систем керування .

Мета: Зменшення електроенергії, що споживається електроприводом, підвищення його надійності та зменшення витрат на експлуатацію.

Завдання дослідження: Модернізувати електропривод ходового візка кратер-крана, виконати розрахунок основних параметрів електрообладнання.

Методи дослідження: Математичне моделювання роботи електродвигунів та пуско-захисної апаратури в електроприводах з трифазними асинхронними двигунами.

Практичне значення: Підвищення ресурсів двигунів та приводів, зменшення затрат на обслуговування та ремонт, економія електроенергії за рахунок використання ефективних алгоритмів керування.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Опис процесу роботи кратцер-крану порталного.

Кратцер-кран, також відомий як скребковий реклаймер, - це машина яка є одною зі складових частин конвеєрних ліній, які використовуються для розвантаження та транспортування сипучих матеріалів, які зберігаються насипом. Зокрема різноманітних видів зерна та насіння.

Кратцер-крани забезпечують найбільшу продуктивність відвантаження сировини при безперервному постачанні. За їх допомогою досягається найшвидше вивільнення складських площин. При цьому потік сировини та його швидкість є дуже прогнозованими, що дозволяє мінімізувати простій транспортних засобів на які відбувається відвантаження. Це надає велику перевагу перед іншими системами перевантаження, особливо коли йдеться про необхідність перевантаження великої кількості сировини у найкоротший час. Наприклад це стосується завантаження суден, коли зайвий час простою судна несе за собою великі збитки.

В залежності від типу сировини яка зберігається та транспортується, складські приміщення можуть мати відкрите і закрите виконання. Для тимчасового зберігання зернових культур використовують лише закриті складські приміщення, для запобігання впливу погодних та атмосферних явищ на сировину, які негативно впливають на якість продукції і унеможливають створення стабільних умов зберігання.

У тимчасових закритих складських приміщеннях великої ємності для розвантаження та переміщення сировини використовують порталні кратцер-крани. Комплекс, окрім самого порталного крану, містить в собі також завантажувальний стрічковий конвеєр і розвантажувальний стрічковий конвеєр або лінію.

Сипуча сировина може постачатися до складів будь-яким засобом. Автомобільним, залізничним транспортом, або навіть суднами. До безпосередньо складського приміщення сировина завантажується за допомогою завантажувального

стрічкового конвеєру, який розташований по центральній вісі пересування крану, а також вище максимального габариту його основної балки.

Головною відмінністю порталних кранів є їхня висока продуктивність, яка становить від кількох десятків тон/год., до кількох тисяч тон/год. Таким чином, використовуючи розвантажувальний комплекс з оптимально підбраною продуктивністю, можна зменшити розходи на простовання транспортних засобів, особливо суден та залізничних составів.

Кран складається з металоконструкції із ходовою частиною, а також стріл з змонтованими на них скребковими конвеєрами. Транспортуючим вузлом кратцер-крану є ланцюговий скребковий конвеєр з тяговим ланцюгом та встановленими на ньому скребками, або ковшами.

Кратцер-кран, що пересувається по металевих рейках, призначений для обслуговування паралельних складських приміщень за допомогою стріл, які змонтовані з одного або обох боків рами.

Портальний кран повинен працювати в єдиній транспортній системі із розвантажувальним стрічковим конвеєром, тобто при зупинці розвантажувального конвеєра робота порталного крану повинна припинитись. Це зроблено для того щоб запобігти надмірному скупченню сировини в місці перевантаження зі скребкового ланцюгу на стрічку розвантажувального конвеєру, а відповідно розсипанню і втраті зернової продукції. Від працездатності завантажувального конвеєру робота порталного крану не залежить і із ним не пов'язана.

Конструкція порталного крану і складського приміщення повинні забезпечити розвантаження з будь-якого місця складу де зберігається сировина. Як правило, порталні крани мають дві стріли для переміщення сировини, основної згортаючої, та допоміжної підгортаючої. В залежності від об'єму сировини та продуктивності розвантажувальної системи, кількість стріл може бути збільшена, шляхом встановлення паралельних стріл по обидві сторони порталу крану.

Переміщення порталу крану здійснюється по заздалегідь підготовленій рейковій колії.

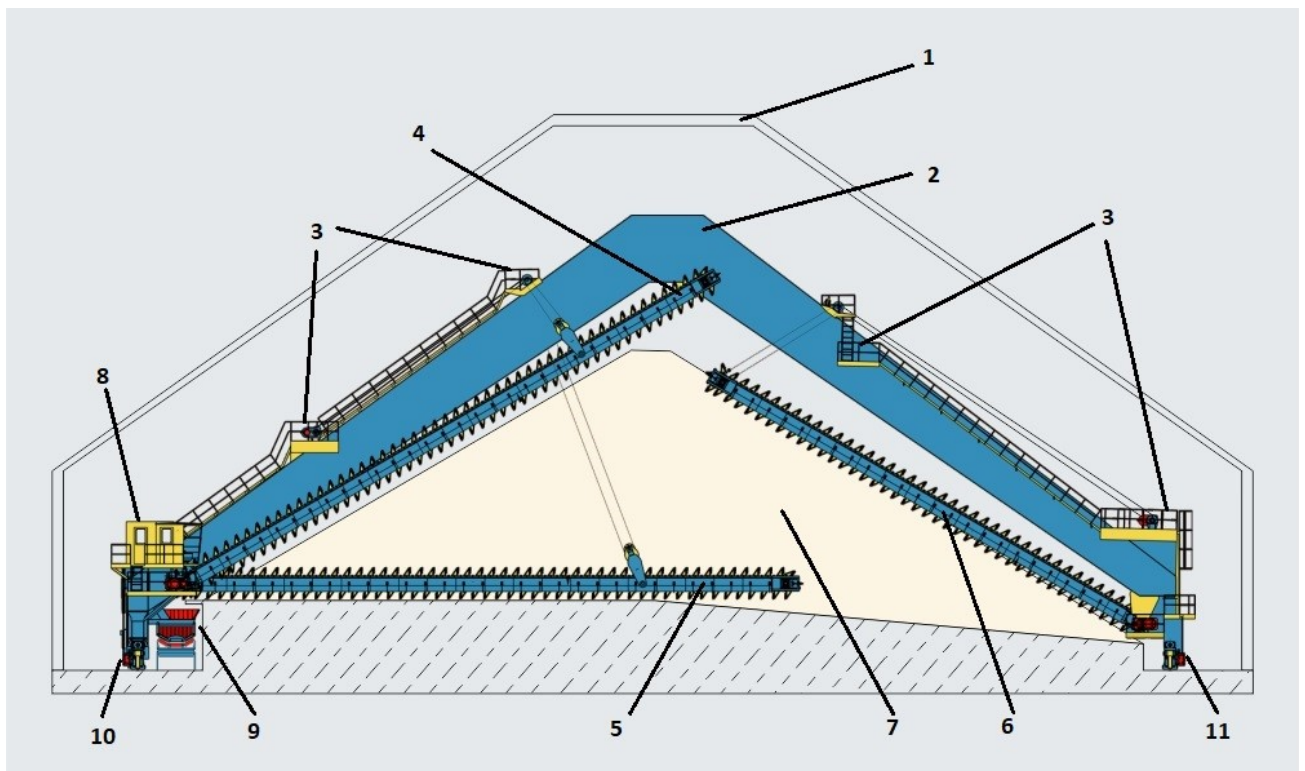


Рисунок 1.1 - Загальна схема портального крану:

- 1 – дах складського приміщення; 2 – рама крану (портал); 3 – майданчики обслуговування; 4 – згортаюча стріла у найвищому положенні; 5 – згортаюча стріла у найнижчому положенні; 6 – підгортаюча стріла;
 7 – перевантажувана сировина; 8 – кабіна прямого керування;
 9 – розвантажувальний конвеєр; 10,11 – приводи пересування.

Відповідно до рисунку 1.1 основою крану є рама (портал) кратцер-крану, який являє собою несучу конструкцію коробчастого прямокутного профілю. На рамі змонтовані основні елементи. Зі сторони розвантажувального стрічкового конвеєру змонтована згортаюча стріла, з протилежної сторони підгортаюча стріла. Також на рамі змонтовані кабіна прямого керування, сходи та майданчики, які використовуються при проведенні технічного обслуговування крану, ремонту, та планово-попереджувальних робіт. Регулювання куту нахилу стріл здійснюється за допомогою підйомних лебідок та системи блоків та підвісів.

Головним елементом крану є стріли, із змонтованими на них скребковими ланцюгами, до яких кріпляться скребки за допомогою яких і відбувається згортання

сировини з відвалу до розвантажувального конвеєру. Скребкові ланцюги мають вигляд пластинчастих ланцюгів з ходовими роликами. Ці ходові ролики приймають на себе головні зусилля при переміщенні сировини. Також на скребкових ланцюгах змонтовані направляючі ролики, які запобігають бокове заклинення при переміщенні сировини.

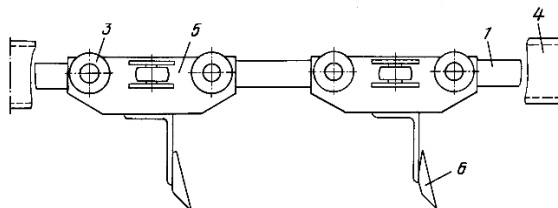


Рисунок 1.2 – Ланки скребкового ланцюгу:

1 – рухомі з'єднання ланок; **3** – ходові ролики ланок; **4** – направляюча рама стріли; **5** – корпус ланки ланцюга; **6** – скребок.

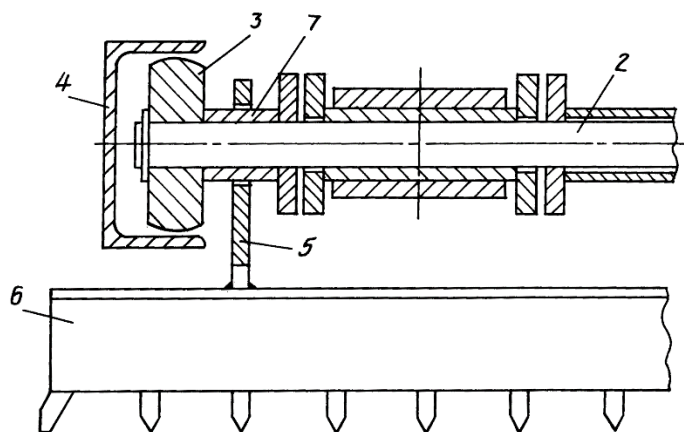


Рисунок 1.3 – Вигляд окремої ланки скребкового ланцюга.

2 – вал ходового ролика; **3** – ходовий ролик; **4** – направляюча рама стріли; **5** – корпус ланки ланцюга; **6** – скребок.

Самі скребки, зазвичай, мають вигляд листу метала, а також можуть бути оснащені декількома зубами.

Рух ланцюгів забезпечують електроприводи які змонтовані на рамі. Ці приводи повинні мати вибухозахищене виконання через те що пил, який утворюється при перевантаженні сировини, може утворювати легкозайману вибухонебезпечну суміш.

По мірі згортання сировини з відвалу відбувається або рівномірне переміщення крану вздовж нього для згортання верхніх шарів сировини, або заглиблення згортаючої стріли у сировину до досягнення нижнього порогу згортання із подальшим переміщенням крану.

Уся рама, з кожної сторони, спирається на два ходових візка, які забезпечують пересування крану уздовж відвалу перевантажуваної сировини. В залежності від ваги та продуктивності крану, кількість ходових візків може бути збільшена.

Ходові візки з'єднані із порталом за допомогою шарової опори. Це зроблено задля компенсації впливу на візки різноманітних деформацій крану, які виникають під час його роботи в залежності від положення стріл і навантаження на них. Задля запобігання пошкодження реборди коліс ходових візків, на них з обох сторін встановлені запобіжні обмежувальні ролики. Якщо починає відбуватися перекося ходового візку відносно рейків, ці обмежувальні ролики впираються в бокову поверхню головки рейок, запобігаючи його подальшому розвитку.

В залежності від конструкції будівлі складського приміщення, направляючі рейки, по яких здійснюється пересування крану, можуть бути розташовані на різному рівні, але повинні бути паралельними і не мати уклону відносно горизонтальної нормалі. На кожному кінці кожної рейки повинні бути механічні пристрої за допомогою яких відбувається натискання «кінцевих» вимикачів які припинять рух ходових візків при досягненні граничних положень крану.

1.2 Конструкція та характеристики ходового кранового візку.

Ходовий крановий візок У2260.30-2.00.000 (далі У2260.30) є одним з найбільш розповсюджених візків на підприємствах України. Він використовується як ходовий

візок не тільки на баштових кранах, а також і на різноманітних порталних кранових комплексах. Зокрема і в кратцер-кранах.

На рис. 1.4 наведена загальна конструкція візка.

Візок У2260.30 може бути як обладнаний приводом, тобто бути ведучим, та також його конструкція передбачає використання його без приводу і тоді візок є ведомим. Ця уніфікація надає великі можливості механічним службам підприємств на яких використовуються ці візки.

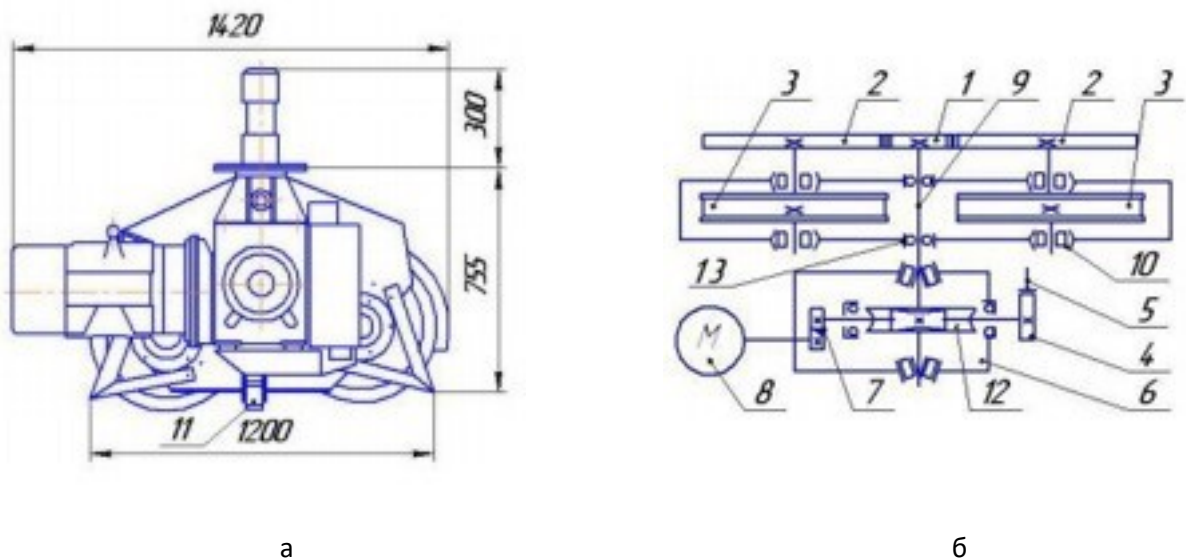


Рисунок 1.4 – Зображення ходового візка У2260.30

а – загальний вигляд: 1 – рама візку; 2 – електродвигун; 3 – редуктор ПК6.3.000; 4 – шкворень; 5 – ходові колеса; 6 – рейковий захват;

б – кінематична схема: 1 – проміжна шестерня $z=21$; 2 – колесо зубчасте $z=53$; 3 – колесо ходове; 4 – шків гальмівний; 5 – гальма електромагнітні; 6 – редуктор ПК6.3.000; 7 – шестерня; 8 – електродвигун; 9- вал приводний; 10 – підшипник; 12 – черв'ячне колесо; 13 – підшипник.

Ходовий візок У2260.30 обладнаний двома дворебордними колесам, також має шарнирне з'єднання зі шкворнем. Це зроблено для того, щоб навантаження передавалося рівномірно на обидва колеса візку.

Ходові візки мають виконання як з приводом – ведучі, та також і без нього – ведомі. В залежності від конструкції, ведучий ходовий візок може бути розрахований на вантажопідйомність від 40 т. до 72 т. Ходовий візок складається зі зварної рами, до якої кріпляться два колеса та редукторний привід ПК-6.3.000. У верхній частині рами розташований шарнірний шкворень для з'єднання із рамою крану. Конструкція шкворню припускає переміщення візку у вертикальній площині до 60 мм, що знижує ризик сходу візка з рейок при можливих нерівномірних просадках ґрунту.

Підшипники ходових коліс закріплені в з'ємних брусах, що дозволяє полегшити технічне обслуговування візку.

Шестерні відкритої передачі закріплені кожухом щоб запобігти потраплянню бруду в місця контакту шестірней, який може призвести до передчасного зносу робочої поверхні зубів цих шестірней. Також для очищення рейок від випадкових предметів ходовий візок обладнаний двома відкидаючими плужками. На торцях візку змонтовані буфери з гумовим амортизатором, який призначений для прийняття зусилля при можливому наїзді на кінцевий упор, який розташований по обидві кінці кранових рейок.

Візок обладнаний центральним рейковим захватом, який розташований між колесами безпосередньо під шкворнем. Захват має спеціальні губки, які постійно знаходяться під головкою рейок. Цей захват запобігає сходу візка з рейок та його розвертанню при можливому відриві візка від рейок, якщо кран працює на рейках які набули деформації внаслідок геологічних причин, або були покладені неналежним чином.

1.3 Короткий опис та конструкція редукторного привіду ПК-6.3.000.

Привід переміщення крану ПК-6.3.000 (далі ПК-6.3) має декілька виконань і призначений для встановлення на ходові кранові візки, зокрема на візок У2260.30. Цей привід використовується в якості мотор-гальмо-редукторів, які працюють у повторно-короткочасному режимі з реверсом, пусковими та гальмівними

перевантаженнями та постійними чи змінними навантаженнями при встановившихся обертах двигуна.

На рисунку 1.5 наведений загальний вигляд привіду ПК-6.3 із зазначенням основних елементів.

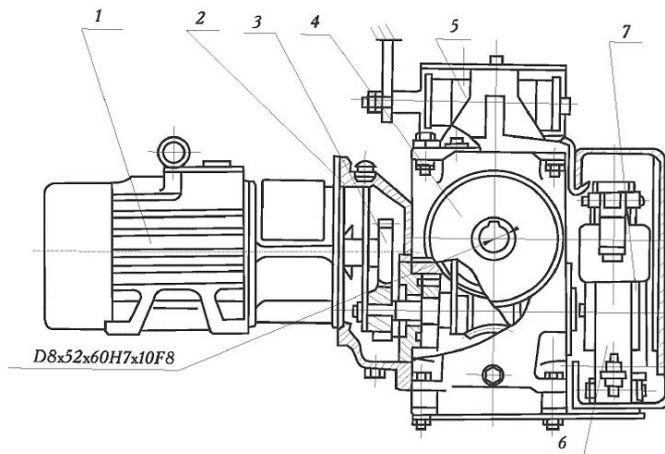


Рисунок 1.5 – загальний вигляд привіду ПК-6.3

1 – асинхронний електродвигун; 2 – перехідний фланець; 3 – зубчаста передача; 4 – редуктор; 5 – амортизатор; 6 – гальма; 7 – гальмівний шків.

Основним елементом приводу є глобоїдний чав'ячний редуктор, який в залежності від моделі може мати передаточне відношення від 16 до 63. Також привод оснащений асинхронним трифазним двигуном, який під'єднаний до одноступеневої циліндричної передачі за допомогою перехідного фланцу. Привід обладнаний колодковими гальмами та гальмівним шківом.

Привід може працювати як з постійним так і змінним навантаженням, як у прямому так і реверсивному режимах роботи. Маючи відносно невеликі габаритні розміри та масу, в режимі безперервної роботи, редуктор здатен передавати обертальний момент на вихідному валу до 1500 Н/м.

Черв'як редуктору виготовлений з легірованої сталі, а колесо має вінець з бронзи. Це дозволяє досягти плавності руху, а також значного зниження акустичного шуму при роботі. Основний корпус редуктора виготовлений з сірого чавуну. На корпусі, в його нижній та верхній частинах, розташовані кріпильні лапи, які дають

змогу встановлювати додаткове обладнання. Головна перевага глобоїдного редуктора, у порівнянні із звичайним черв'ячним, полягає у тому що він здатен передавати значно вищий обертальний момент, до 3-5 разів, при тих самих розмірах.

Таблиця 1.1 – характеристики привіду ПК-6.3

Назва параметру	Передаточні числа редуктору	
	16 - 32	40 - 60
Потужність двигуна, кВт	5,5	4,0
Обертальний момент на вихідному валу, Н*м	2200	1800
Припустимий пусковий момент на вихідному валу, Н*м	3200	2500
Частота обертання вхідного валу, об/хв	1000	1000
Частота обертання вихідного валу, об/хв	62,5	62,5
ККД глоб. редуктора	0,75	0,77
ККД зубчастої передачі	0,97	
Гальма, тип	ТКТ 200/100	ТКТ 200/100
Амортизатор, тип	гумовий	гумовий
Габаритні розміри, мм	1440 x 520 x 660	
Вага, кг	280	

1.4 Загальна характеристика електроприводу візка У2260.30.

Найчастіше, в якості електроприводу робочих машин, використовуються трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. В залежності від умов використання робочої машини, обирають електродвигун необхідної серії, такої як АІР, 4А, АІММ, тощо.

Якщо проєктована потужність електродвигуна не перевищує 250 кВт, то в цих випадках, найчастіше використовуються трифазні асинхронні електродвигуни із короткозамкненим ротором, які розраховані на робочу напругу 380 В частотою 50 Гц.

Найчастіше, асинхронні електродвигуни невеликої потужності, до 10 кВт, підключають методом «прямого пуску». Цей метод не є доцільним, через те що у момент безпосереднього пуску електродвигуна, пусковий струм може перевищувати номінальний струм до 8 разів. Тобто має місце співвідношення:

$$I_{\Pi} \leq 8I_{\text{H}} \quad (1.1)$$

де I_{Π} – пусковий струм, I_{H} – номінальний струм.

При режимах роботи електродвигуна відмінного від S1, це призводить до великих втрат електроенергії, додаткових навантажень на електромережі підприємств і відповідно підвищених витрат на електрозахисне обладнання.

На ведучому ходовому візку У2260.30 встановлюється редукторний привід ПК-6.3 який оснащений трифазним асинхронним електродвигуном із короткозамкненим ротором, номінальною потужністю $P_{\text{НОМ}} = 4,0$ кВт, частота обертання ротора якого становить $n_{\text{ДВ}} = 1000$ об/хв.

Враховуючи особистості роботи кранового комплексу, електродвигун працює у режимі S3, тобто періодично короткочасному режимі із послідовністю однакових робочих циклів.

2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Вимоги до ходового візку.

Ходовий візок У2260.30 призначений для переміщення кранових комплексів вагою до 60 т. по заздалегідь підготовленим крановим коліям.

Кранові колії повинні відповідати вимогам вказаним у НПАОП 0.00-1.80-18, розділі IV п. 3 (Улаштування наземних кранових колій вантажопідйомних кранів). Ухил земляного полотна не повинен перевищувати значення 0,003 (тобто до 0.3°). Кранова колія має бути заземлена. Рейкові нитки в обох кінцях кранової колії, а також кінці рейок, що стикають, мають бути сполучені між собою приварюванням перемичок і приєднані до заземлювача (заземлені), утворюючи безперервне електричне коло. Заземлення кранової колії необхідно здійснювати незалежно від існуючої системи мережі електрозабезпечення - глухозаземленої або ізолюваної нейтралі трансформаторів (генераторів).

Колеса візку мають бути дворобордними незалежно від ширини колії. Колеса візків мають бути ковані, катані, штамповані або литі. Ходові колеса повинні бути виготовлені зі сталі.

Згідно додатку 22 до НПАОП 0.00-1.80-18, електродвигун має відповідати вимогам категорії У3, та мати ступінь захисту IP44.

Після модернізації привідний ходовий візок У2260.30 має відповідати наступним вимогам:

1. Максимальна швидкість переміщення візку:

$$V_{\text{ВІЗ}} = 10 \text{ м/хв.}$$

2. Точність регулювання швидкості візку:

$$\Delta V_{\text{ВІЗ}} = 5,0\%$$

3. Напряга живлення електродвигуна: 3 PEN 380 В 50 Гц.

Підключення електричних систем крану виконується кабелем, який укладений в спеціальний лоток. Усі кабелі повинні проходити через спеціальні кронштейни, які закріплені на порталі крану. Кабелі мають бути з алюмінієвими або мідними жилами. Органи управління розташовують у шафах які повинні знаходитися у пилонепроникному приміщенні.

На порталі крану, зі сторони розвантажувального конвеєру, повинна бути розміщена кабіна прямого управління із необхідними органами керування та обов'язковим дублюванням сигнальної індикації, яка показує стан вузлів та механізмів кратцер-крану.

Поблизу вхідної двері у приміщення автоматики повинен знаходитись головний рубильник який забезпечує відключення крану від мережи живлення. Підключення до мережи живлення відбувається за допомогою вимикача (рубильника), який встановлюється на ходовому візку зі сторони вводу кабелів напруги. В ручному режимі, включення можна здійснити за допомогою пульта розташованого в кабіні на порталі крану.

Приводи скребкових ланцюгів повинні вмикатися тільки після того як почне працювати розвантажувальний конвеєр.

2.2 Розрахунок потужності та вибір двигуна.

Будемо обирати електродвигун спираючись на умови експлуатації, характеристики редуктору та результати розрахунків навантажень на візок.

Нам відома синхронна частота обертання n_0 , та режим роботи двигуна S2 – S3, короткочасний або періодично короткочасний, коли тривалість включення (ТВ) лежить у межах: $15\% \leq ТВ \leq 60\%$, а тривалість одного циклу приймають рівним 10 хв.

Розрахуємо необхідну потужність двигуна ходового візку.

Загальна формула розрахунку потужності електродвигуна для колісних візків має наступний вигляд:

$$P_{дв} = \left(W_{СК} + 1,3 \cdot \frac{Q_{\Sigma}}{g} \cdot a \right) \cdot \frac{v}{\eta \cdot \psi} \quad (2.1)$$

де $W_{СК}$ – статична сила опору на ободі колеса, Н;

Q_{Σ} – сумарна вага візку та крану, $Q_{\Sigma} = 720000$ Н;

a – прискорення до досягнення заданої швидкості, $a = 0,23$ м/с²;

v – максимальна швидкість, $v = 0,1$ м/с;

η – загальний ккд привіду, $\eta = 0,5$;

ψ – коефіцієнт перевантаження двигуна при пуску, $\psi = 2$.

Статична сила опору на ободі колеса визначається за формулою:

$$W_{СК} = Q_{\Sigma} \cdot \left(\frac{(2 \cdot \mu + f \cdot d)}{D} k_p + \sin \gamma \right) \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт тертя котіння коліс по рейках, $\mu = 2,5$;

f – коефіцієнт тертя підшипників ступиць, $f = 0,015$;

d – робочий діаметр підшипників коліс візку, $d = 0,15$ м;

D – діаметр коліс візку, $D = 0,5$ м;

k_p – коефіцієнт ребордного тертя, $k_p = 2,5$;

γ – максимальний кут нахилу рейкової колії, $\gamma = 0,3$.

Підставляючи дані відомі параметри до формули 2.2 ми отримуємо значення:

$$W_{СК} = 16200 \text{ Н.}$$

Тепер ми можемо розрахувати потужність необхідного електродвигуна:

$$P_{дв} = 3,813 \text{ кВт.}$$

Отже нам відомі основні параметри необхідні для вибору марки електродвигуна, а саме $P_{дв} = 3,813$ кВт, та також задана частота обертання ротора $n_0 = 1000$ об/хв.

Редуктор ПК-6.3 припускає встановлення асинхронних двигунів серії АІММ, які у захищеному виконанні мають маркування АІММ

Для вибору ми розглядаємо трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором, для режиму S2 – S3, вибухозахищеної серії АІММ і у кліматичному виконанні IP54, та напругою живлення 380 В 50 Гц.

Згідно розрахованих параметрів обираємо двигун АІММ112МВ6, який має наступні характеристики наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики двигуна АІММ112МВ6

Р _{НОМ} , кВт	S, %	n _{НОМ} , об/хв	ККД, %	cos φ	I _{НОМ} , А	M _М /M _Н	M _П /M _Н	M _{МИН} /M _Н	I _{ПУСК} /I _Н	Маса, кг
4	4,6	955	82,6	0,78	9,4	3,2	2	1,6	5,6	73

АІММ – Асинхронний двигун, серії інтерелектро, вибухозахищеного виконання;

112 – умовний габарит (висота вісі обертання, мм);

В – Монтажний розмір по довжині станини;

6 – кількість полюсів.

Цей двигун може використовуватись як в приміщеннях так і зовнішніх установках, де можуть утворюватись вибухонебезпечні суміші, віднесені до категорій ІА, ІВ та групам в залежності від температур самозаймання T1, T2, T3 та T4 відповідно до ГОСТ 12.1.011-78.

Також двигун має захищене виконання 1 ExdII BT4/2 ExdII CT5:

1/2 – рівень вибухозахисту для вибухобезпечного обладнання;

Ex – вид вибухозахисту відповідний двигуну;

d – вибухонепроникна оболонка корпусу;

ІВ/ІС – категорія вибухобезпеки для вмісту газів та пруг у повітрі;

T4 – температурний клас обладнання

$$ТВ\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Де t_p – тривалість робочого періода, у нашому випадку в залежності від відстані на яку треба переміщувати кран за один цикл, t_p до 1,5 хв;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість всього циклу з урахуванням пауз, $t_{\text{ц}} = 10$ хв.

$$ТВ\% = \frac{1,5}{10} \cdot 100\% = 15\%$$

Отже ТВ буде лежати в діапазоні $15\% \leq ТВ \leq 60\%$ і тому можна вважати режим роботи двигуна періодично-короткочасним.

І його навантажувальна діаграма буде мати вигляд наведений на рис. 2.1.

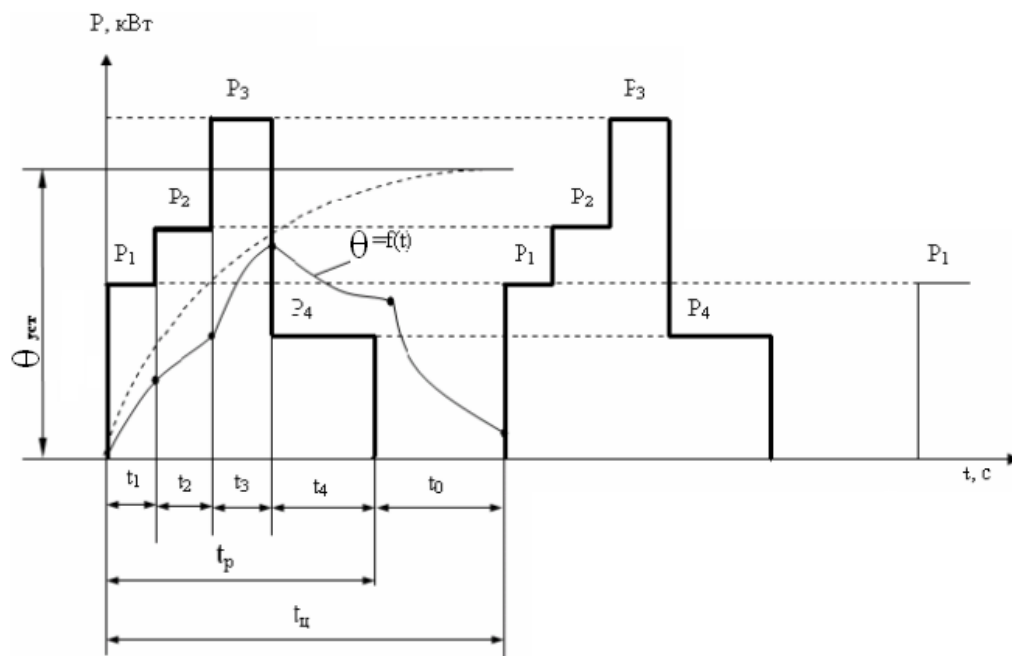


Рисунок 2.1 – навантажувальна діаграма та крива нагріву двигуна для режиму роботи S3.

2.3 Механічна характеристика двигуна.

Скористаємося стандартною методикою розрахунку для побудови механічної характеристики електродвигуна.

Отже ми маємо наступні паспортні дані обраного трифазного двигуна АІММ112МВ6:

$P_{НОМ} = 4,0$ кВт, $n_{НОМ} = 955$ об/хв., ккд $\eta_{НОМ} = 82,6$ %, $\cos(\varphi)_{НОМ} = 0,78$, коефіцієнт відношення струмів $K_I = I_{ПУСК}/I_{НОМ} = 5,6$, коефіцієнт відношення пускового моменту $K_{МП} = M_{ПУСК}/M_H = 2$, коефіцієнт максимального перевантаження моменту $K_{ММ} = M_{МАКС}/M_H = 3,2$.

Знайдемо синхронну частоту обертання ротору двигуна:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.4)$$

де f – частота змінного струму мережі живлення, тобто $f = 50$ Гц;

p – кількість пар полюсів, для обраного двигуна $p = 3$.

Підставимо ці значення і отримаємо:

$$n_0 = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/хв.}$$

Далі знайдемо номінальну активну потужність електродвигуна:

$$P_{1НОМ} = \frac{P_{НОМ} \cdot 1000}{\eta_{НОМ}} \quad (2.5)$$

І підставивши дані з паспорту електродвигуна:

$$P_{1НОМ} = \frac{4,0 \cdot 1000}{0,826} = 4,85 \text{ кВт.}$$

Тепер розрахуємо момент M_H :

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ}} \quad (2.6)$$

$$M_H = 9550 \cdot \frac{4,0}{960} = 39,8 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Далі знаходимо максимальний момент електродвигуна $M_{МАКС}$:

$$M_{МАКС} = K_{ММ} \cdot M_H \quad (2.7)$$

$$M_{МАКС} = 3,2 \cdot 39,8 = 127,36 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

І пусковий момент електродвигуна $M_{ПУСК}$:

$$M_{ПУСК} = K_{МП} \cdot M_H \quad (2.8)$$

$$M_{ПУСК} = 2 \cdot 39,8 = 79,6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Для того щоб побудувати механічну характеристику нашого електродвигуна нам треба побудувати графік залежності частоти обертання ротора від моменту навантаження на валу (тобто обертового моменту) при незмінній напрузі мережі живлення. Отримати цю залежність у явному вигляді ми не можемо тому, згідно стандартної методики, ми скористуємося формулою Клосса, яка відображає залежність обертового моменту від параметру ковзання ротора:

$$M = \frac{2M_{МАКС}}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.9)$$

де $M_{МАКС}$ – максимальний обертовий момент який ми розраховали вище за формулою 2.7;

S_K – критичне ковзання.

Знайдемо S_K за наступною формулою:

$$S_K = S_{НОМ} \left(K_{ММ} + \sqrt{K_{ММ}^2 - 1} \right) \quad (2.10)$$

де $S_{НОМ}$ – номінальне ковзання;

$$S_{НОМ} = \frac{n_0 - n_{НОМ}}{n_0} \quad (2.11)$$

$$S_{НОМ} = \frac{1000 - 955}{1000} = 0,046, \text{ або у відсотках } S_{НОМ} = 4,6\%.$$

Тоді:

$$S_K = 0,046 \cdot \left(3,2 + \sqrt{3,2^2 - 1} \right) = 0,287.$$

Отже знаючи значення $M_{МАКС}$ та S_K , та підставляючи значення S в інтервалі від 0 до 1, а також при цьому визначаючи значення n за формулою:

$$n = n_0 \cdot (1 - S) \text{ об/хв} \quad (2.12)$$

ми можемо зробити таблицю значень співвідношення обертового моменту M до частоти обертання ротору n . І по таблиці цих значень вже побудувати графічно механічну характеристику двигуна.

Таблиця 2.2 – Співвідношення ковзання, обертів та моменту.

S	0	0,046	0,15	0,2	0,287	0,3	0,5	1
n, об/хв	1000	954	850	800	713	700	500	0
M, Нм	0	39,8	104,6	119,5	127,4	127,2	110,0	67,5

Використовуючи дані з таблиці 2.2 побудуємо механічну характеристику.

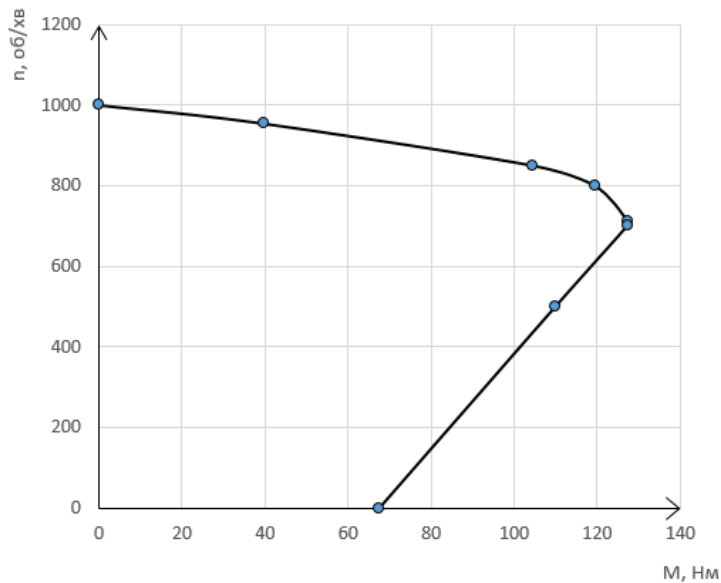


Рисунок 2.2 – механічна характеристика електродвигуна.

2.4 Розрахунок параметрів лінії живлення.

Слід зазначити, що загальна лінія живлення усього крану доволі складна, та виходить за рамки даного дипломного проекту. Натомість ми приведемо розрахунок лінії живлення необхідної для підключення лише ведучого ходового візку.

Знову ж таки скористуємося стандартною методикою розрахунку необхідних параметрів лінії живлення електродвигуна ходового візку.

Основним параметром лінії живлення є площа перетину жили кабелю, яка вимірюється у мм². Щоб її розрахувати, нам треба визначити номінальний струм який потребується при роботі електродвигуна.

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi_{НОМ} \cdot \eta_{НОМ}}, \text{ А} \quad (2.13)$$

де більшість даних ми беремо з паспорту електродвигуна:

$P_{НОМ}$ – номінальна потужність двигуна, $P_{НОМ} = 4\text{кВт}$;

$U_{НОМ}$ – номінальна напруга мережі живлення, $U_{НОМ} = 380\text{ В}$;

$\cos(\varphi)_{НОМ}$ – номінальний коефіцієнт потужності, $\cos(\varphi)_{НОМ} = 0,78$;

$\eta_{НОМ}$ – номінальний ККД електродвигуна, $\eta_{НОМ} = 82,6\%$.

Підставивши ці значення до формули 2.х отримаємо:

$$I_{НОМ} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,78 \cdot 0,826} = 9,43 \text{ А.}$$

Результати наших розрахунків збігаються із даними наведеними у паспорті електродвигуна ($I_{НОМ} = 9,4 \text{ А}$).

Також при виборі кабелю для мережі живлення електродвигуна треба приймати до уваги допустимий довгостроковий струм $I_{Д}$ для обраного кабелю, який ми дізнаємося з літератури. Повинно виконуватися умова:

$$I_{Д} \geq I_{НОМ}, \quad (2.14)$$

З розрахунку того що $I_{НОМ}$ нашого електродвигуна дорівнює 9,4 А, Обираємо чотирижильний кабель з мідними жилами, який має перетин кожної жили 2,5 мм². Для цього кабелю $I_{Д} = 14 \text{ А}$. Отже виконується умова (2.14)

$$I_{Д} = 14,0 \text{ А} \geq I_{НОМ} = 9,43 \text{ А.}$$

Також необхідно перевірити кабель, який ми обрали, на втрати напруги в ньому, а саме на виконання умови:

$$\Delta U_{Д} \geq \Delta U_{РОЗ}, \quad (2.15)$$

де $\Delta U_{Д}$ – допустима втрата напруги в кабелі, для двигуна, значення якої береться з справочної літератури, $\Delta U_{Д} = 5,0 \%$;

$\Delta U_{РОЗ}$ – розрахункова втрата напруги в кабелі, яка знаходиться за формулою:

$$\Delta U_{РОЗ} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{НОМ}} \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

де l – довжина лінії, прийmemo $l = 100\text{м}$;

r_0 – активний погонний опір лінії, Ом/км:

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \quad (2.17)$$

тут γ – питома активна провідність, для міді $\gamma = \text{Ом/км}$;

S – площа перетину жили обраного кабелю, $S = 2,5 \text{ мм}^2$;

$$r_0 = \frac{1000}{19 \cdot 2,5} = 21,0 \text{ Ом/км};$$

x_0 – реактивний погонний опір лінії, $x_0 = 0,1 \text{ Ом/км}$.

У підсумку:

$$\Delta U_{\text{роз}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 9,4 \cdot 0,1 \cdot (21,0 \cdot 0,78 + 0,1 \cdot 0,62)}{380} \cdot 100\% = 3,04\%$$

Отже $\Delta U_{\text{роз}}$ не перевищує допустимого значення втрат $\Delta U_{\text{д}}$ і виконується умова 2.15.

На підставі проведених розрахунків ми приходимо висновку щодо правильності вибору чотирьохжильного мідного кабелю, із площиною перетину однієї жили $S = 2,5 \text{ мм}^2$.

2.5 Розрахунок та вибір захисного обладнання.

Наступним кроком після того як ми обрали модель електродвигуна і розрахували параметри лінії його живлення є розрахунок параметрів обладнання для електричного захисту електроприводу.

Комплекс обладнання для безпечного підключення електроприводу до мережі живлення складається з наступних компонентів:

автоматичний вимикач, який слугує для аварійного відключення;

магнітний пускач, для включення електроприводу;

теплове струмове реле, для захисту від струмових перевантажень.

Найпоширенішою серією автоматичних вимикачів, для захисту мережевих ліній живлення та асинхронних електродвигунів, від струмів короткого замикання, а також струмів тривалого перевантаження, є серія вимикачів АЕ20.

Основними характеристиками, на які варто орієнтуватися при виборі автоматичного вимикача є:

номінальний тривалий струм вимикача I_{HB}

теплова уставка автоматичного вимикача, I_T ;

електромагнітна уставка вимикача, I_{EM} ;

$$I_T \geq 1,25 \cdot I_{НОМ} \quad (2.16)$$

$$I_T \geq 1,25 \cdot 9,4 = 11,75 \text{ А.}$$

$$I_{EM} \geq 1,2 \cdot I_{ПУСК} \quad (2.17)$$

$$I_{EM} \geq 1,2 \cdot K_I \cdot I_{НОМ} = 1,2 \cdot 5,6 \cdot 9,4 = 63,5 \text{ А}$$

Отже наш вимикач повинен мати наступні параметри:

$$I_{HB} = 16 \text{ А;}$$

$$I_T = 12 \text{ А;}$$

$$I_{EM} \geq 1,0 \text{ кА.}$$

Отже на підставі наведених вище розрахунків ми можемо обрати автоматичний вимикач з серії АЕ20, такий як АЕ-2026-10Н 16А, який має наступні характеристики:

$$I_{HB} = 16 \text{ А; } I_T = 12,5 \text{ А, } I_{EM} = 2,0 \text{ кА.}$$

Після вибору автоматичного вимикача необхідно провести розрахунки для того щоб обрати тип магнітного пускача.

Основні параметри які необхідно знати для вибору це:

номінальний робочий струм пускача $I_{НП}$;

напруга живлення котушки управління.

Значення номінального струму магнітного пускача $I_{НП}$ визначаємо за значенням робочого струму двигуна $I_{НОМ}$ і з урахуванням виконання умови:

$$I_{НП} \geq I_{НОМ}, \quad (2.18)$$

У обраного нами електродвигуна $I_{НОМ} = 9,4$ А. Отже можемо обрати магнітний пускач ПМЛ-1100 який має номінальний струм $I_{НП} = 10$ А. Вочевидь що умова 2.18 виконується:

$$I_{НП} = 10 \text{ А} \geq I_{НОМ} = 9,4 \text{ А}.$$

Для захисту електродвигунів від струмових перевантажень неприпустимої тривалості використовують електротеплові струмові реле. Вони також забезпечують захист від асиметрії струмів у фазах, та від «випадіння» одної з фаз. Для уніфікації обладнання варто звернути увагу на реле серії РТЛ, які призначені для установки безпосередньо на магнітні пускачі серії ПМЛ.

При виборі моделі теплового реле необхідно виходити з умови:

$$I_{РМАКС} \geq I_{НОМ} \geq I_{РМИН} \quad (2.19)$$

де параметри $I_{РМИН}$ та $I_{РМАКС}$ визначають діапазон струму в межах якого відбудеться спрацьовування реле;

$I_{НОМ}$ – відповідно робочий струм двигуна.

З серії РТЛ обираємо теплове реле РТЛ 1014, яке має діапазон установок неспрацьовування у межах від 7 А до 11 А. Тобто виконується умова 2.х:

$$I_{РМАКС} = 11 \text{ А} \geq I_{НОМ} = 9,4 \text{ А} \geq I_{РМИН} = 7 \text{ А}.$$

Підсумовуючи розрахунки в цьому розділі зробимо зведену таблицю.

Таблиця 2.3 – перелік захисного обладнання для електродвигуна.

Електродвигун			Аварійний вимикач			Магнітний пускач			Теплове реле		
позначення	P_{HO} м, кВт	I_{HO} м, А	позначення	I_{HO} м, А	I_{K3} А	позначення	тип	I_{HP} А	позначення	тип	діапазон, А
АД1	4,0	9,4	QF1	16	2	KM1	ПМЛ11 00	10	КТ1	РТЛ101 4	7 - 11

2.6 Спрощена схема включення електродвигуна.

Побудуємо стандартну і дуже спрощену релейно-контакторну схему включення електродвигуна.

На схемі (рис 2.3) присутнє вибране нами раніше обладнання запуску та захисту. Так аварійний вимикач QF1 забезпечує подачу живлення на усю схему, а також захист від короткого замикання. Трансформатор Т1 (за потреби) забезпечує живлення котушки магнітного пускача. KM1, який своїми контактами KM1.1 забезпечує замикання, або розмикання ланцюгу живлення. Також контактна група KM1.2, магнітного пускача, забезпечує «автопідхват» живлення на котушку KM1 після розмикання кнопки пуску SB1. Кнопки SB2 та SB3 забезпечують розмикання ланцюгу живлення котушки KM1 і відповідно зупинки електродвигуна.

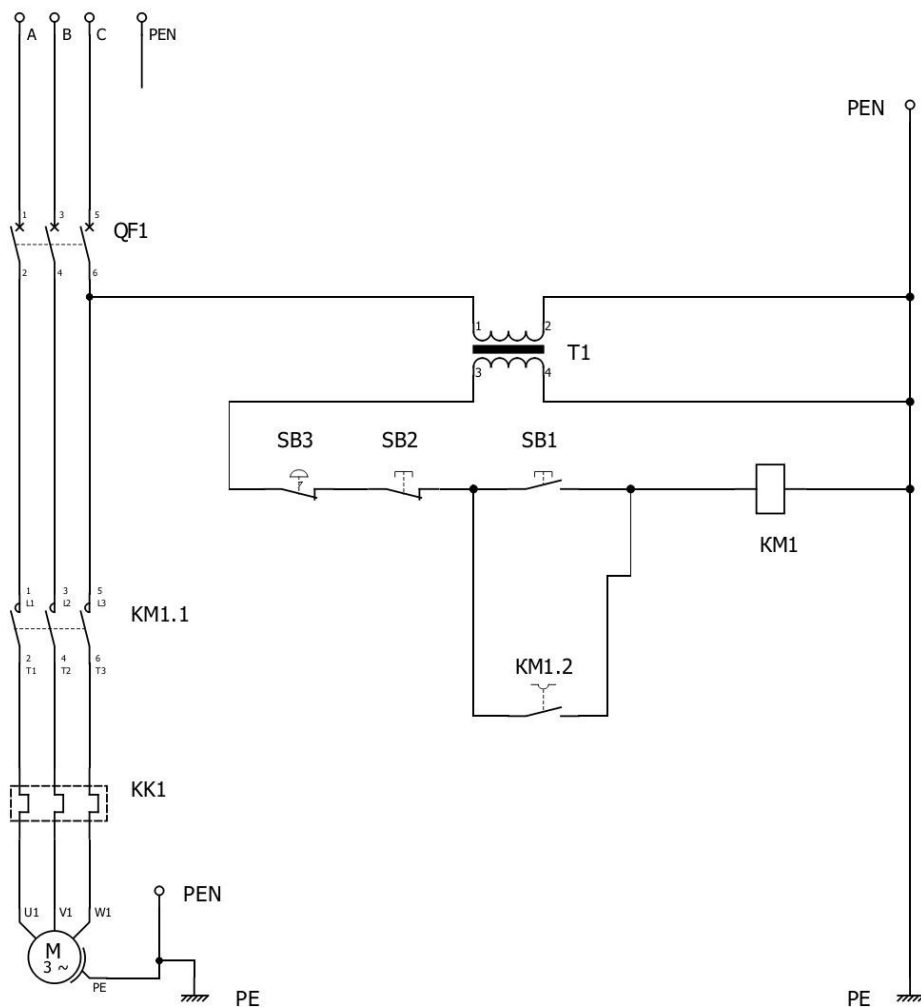


Рисунок 2.3 – загальна схема релейно-контакторного включення трифазного електродвигуна.

Якщо підключати електродвигун за схемою приведеною на рисунку 2.3, або подібною, то ми стикаємося із низкою негативних факторів, а саме:

Пусковий струм, який становить

$$I_{ПВСК} = K_I \cdot I_{НОМ} = 5,6 \cdot 9,4 = 52,7 \text{ А.}$$

Враховуючи режим роботи двигуна, а саме із частими пусками, такі постійні стрибки струму викликають велике навантаження на внутрішні мережі живлення підприємства. Також це може призвести до значного підвищення температури кабелів живлення що викличе погіршення їх робочих характеристик. Не треба забувати і про те, що під час пуску електродвигуна, відбувається зниження напруги у

внутрішній мережі живлення іншого обладнання, що може викликати вихід з ладу обладнання чутливого до таких перепадів. Також треба зауважити, що при зміні напруги в мережі живлення електроприводів змінюються оберти та обертальний момент на валу, а це в свою чергу може призвести до порушень у технологічних процесах підприємства.

2.7 Переваги перетворювача частоти.

Для запобігання, або зменшення, впливанню негативних факторів, зазначених у попередньому розділі, є декілька варіантів дій.

Якщо двигуни мають велику потужність (десятки та сотні кВт), то можна застосувати схему пуску коли на старті обмотки фаз статора підключені за схемою «зірка», а при досягненні певних обертів переключати обмотки на схему включення «трикутник». Таким чином ми зменшуємо пусковий струм двигуна у 1,8 рази, але при цьому зменшується і пускова потужність у 3 рази, а відповідно у ті ж самі 3 рази зменшується і пусковий момент двигуна. Та при цьому, такий метод пуску двигуна все одно призводить до зниження напруги у мережі живлення підприємства.

Усі ці проблеми вирішує застосування пристроїв плавного пуску (ППП) електродвигунів. Це пристрій, який обмежує величину напруги яка подається на електродвигун, та по збільшує її по мірі розгону ротора. При цьому, під час пуску електродвигуна, момент на валу ротора не набуває гранично-екстремальних значень, що може призвести до перегріву двигуна, підвищеного зносу підшипників, а відповідно передчасному виходу з ладу електроприводу.

Застосування PPP виправдане на невеликих об'єктах де немає великої кількості електроприводів, та/або не потрібна їх інтеграція у систему АСУ ТП.

Натомість використання перетворювачів частоти (ПЧ) окрім вирішення зазначених вище проблем також дає нам змогу гнучкого підходу до побудови, або модернізації, систем АСУ ТП на підприємствах. Окрім того що ПЧ забезпечує плавний пуск електродвигуна він також розширює можливості з управління електроприводом, а саме: регулювання частоти обертів ротору, захист двигунів від

струмі короткого замикання і струмів тривалого навантаження, тобто немає потреби у використанні окремих пристроїв таких як магнітний пускач, теплове реле та й ін.. Також використання ПЧ дає нам можливість дистанційного контролю стану електродвигуна, частоти обертання ротору, величини струму та напруги, потужності і моменту.

Існує два основні типи ПЧ, з безпосереднім зв'язком із мережею живлення, та с проміжною ланкою постійного струму. До перших відносяться ПЧ які побудовані на основі швидкодіючих тиристорних перетворювачів які включені за мостовим, перехресним, нульовим та зустрічно-паралельним схемам. Другі ж побудовані на базі схеми подвійного перетворення. Тобто спершу змінна напруга з мережі перетворюється на постійну за допомогою випрямляча, а потім вже, за допомогою інвертора перетворюється на змінну напругу необхідної величини та частоти.

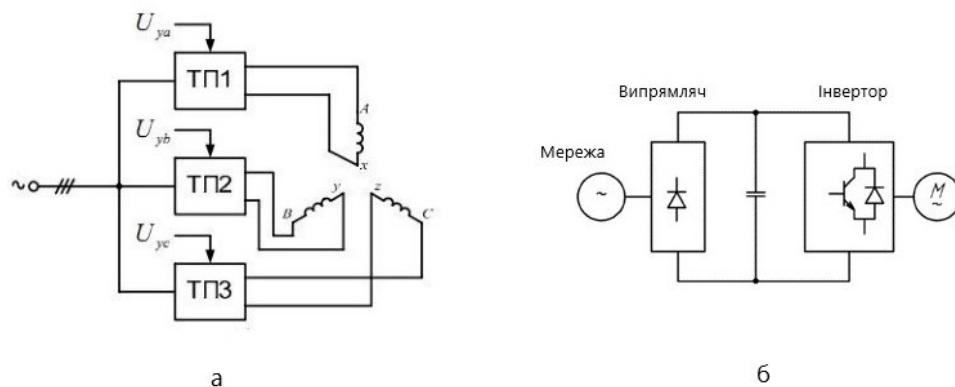


Рисунок 2.4 – структурні схеми перетворювачів частоти.

а – ПЧ безпосереднього перетворення;

б – ПЧ з подвійним перетворенням.

Обидва типи ПЧ мають як свої переваги так і недоліки. Так ПЧ прямого типу мають вищий ККД, та дозволяють задіяти системи рекуперації електроенергії. Натомість такі ПЧ здатні лише знижувати частоту, тобто за їх допомогою можна лише зменшувати частоту обертання ротору, та мають апроксимовану форму

синусоїди з наявністю постійної складової та різних субгармонік, що призводить до додаткового нагріву електроприводу, зменшенню моменту, та створює перешкоди в мережі живлення. На відміну від перших, ПЧ подвійного перетворювання, за рахунок наявності додаткових (фільтруючих та інвертуючих) блоків, мають менший ККД, більші габарити та вагу. Але, натомість вони мають багато переваг: дозволяють регулювати частоту вихідної напруги у значно ширшому діапазоні, включаючи її збільшення за значення вхідної частоти; на виході, ПЧ подвійного перетворювання видають «чисту» синусоїду; також їх можливо адаптувати до мереж живлення постійного струму; різноманіття алгоритмів управління електроприводами.

За принципом управління двигунами, ЧП поділяють на два типи:

ЧП зі скалярним управлінням;

ЧП з векторним управлінням.

Скалярний тип управління ще називають вольт-частотним, або U/f -управління.

При використанні цього типу управління двигуном здійснюється шляхом зміни частоти напруги на статорі при одночасному змінненні модулю цієї напруги таким чином щоб виконувалася умова:

$$U/f = \text{const} \quad (2.20)$$

де U – напруга на статорі

f – частота напруги статора.

При незмінності перевантажувальної здібності, коефіцієнт потужності та ккд двигуна, на всьому діапазоні регулювання частоти обертів, майже не змінюється. Але при цьому слід зауважити, що гранична нижня частота регулювання становить приблизно 10 – 15% від номінальної частоти обертів ротора двигуна.

Строге виконання умови 2.20 призводить до того що у стартовій точці, коли $U = 0$ В і $f = 0$ Гц, у момент пуску вал вільно обертається і обертальний момент відсутній. В багатьох випадках це може призвести до неможливості рушити навантаження. Щоб цьому запобігти, при $f = 0$ Гц вже подають якийсь відсоток від

$U_{НОМ}$, щоб забезпечити наявність обертового моменту. Але цей механізм підвищення напруги діє лише на першій стадії розгону двигуна, приблизно до 5 – 10 Гц. Після досягнення цього граничного значення залежність 2.20 знову набуває лінійності.

Найбільшого поширення ЧП зі скалярним управлінням набули для застосування на електроприводах вентиляторів, насосів, конвеєрів тощо.

ПЧ з векторним (частотно-векторним) управлінням застосовують здебільшого для електроприводів з важкими режимами роботи, тобто кранове обладнання, ліфти, інші системи де потрібне точне позиціонування.

На відміну від скалярного, векторне управління асинхронним двигуном здійснюється не лише за рахунок зміни напруги й частоти на статорі, але також зміною магнітного поля статора й ротора, регулюючи їх взаємодію між собою. При цьому досягається оптимізація обертового моменту при різних частотах обертання.

Головна складність реалізації векторного управління є визначення положення вісі магнітного поля ротору у просторі. Це можна зробити декількома способами. Або встановленням у електропривод датчиків Холла, або розрахунком за миттєвими значеннями струму, напруги статора та швидкості обертання ротору. Якщо допустима точність регулювання частоти обертання становить до 1.5%, та діапазон не перевищує 1:100, то можна використовувати розрахункову (бездатчикову) систему векторного управління. Цим умовам відповідає більшість виробничого обладнання. Якщо ж вимоги більш прецизійні, коли точність регулювання частоти повинна бути 0,2% або краще, та діапазон становить 1:10000, то треба вже використовувати управління із датчиками швидкості на валу.

У порівнянні, векторне управління надає багато переваг над скалярним:

- підвищена точність і ширший діапазон регулювання швидкості;
- більш плавне регулювання швидкості у всьому діапазоні частот;
- можливість утримання швидкості при зміні навантаження;
- зменшення втрат при перехідних процесах в електроприводі.

Також існує декілька режимів управління самими ЧП.

Ручне управління. В цьому режимі пуск та зупинення електродвигуна здійснюється безпосередньо з панелі ЧП, або зовнішнього пульта.

Зовнішнє управління. Цей режим дозволяє здійснювати управління ПЧ через різноманітні інтерфейси (RS-485, ModBUS, ProfiBUS тощо) за допомогою віддаленого ПК з центрального посту управління.

Управління по «сухим контактам», або дискретних входах. В цьому режимі ПЧ виконує команди від зовнішньої системи управління, такої як АСУ ТП.

Управління за подіями. Багато моделей ЧП дозволяють запрограмувати час пуску та зупинення, режим роботи електродвигуна.

Підсумовуючи інформацію в цьому розділі можна зробити наступні висновки:

Переваги використання ЧП

1. Економія електроенергії. За рахунок зниження пускових струмів, та з урахуванням фактичного навантаження.
2. Збільшення строку служби промислового обладнання.
3. Спрощене технічне обслуговування. Сам ПЧ не має рухомих частин та контактних груп де може бути іскроутворювання та зношення контактних поверхонь.
4. Можливість віддаленого управління та контролю параметрів обладнання.
5. Захист електродвигуна від аварій та екстремальних режимів роботи.

2.8 Вибір перетворювача частоти.

Останнім часом на ринку представлені здебільшого ПЧ з подвійним перетворюванням. Це зумовлено їх більшою універсальністю, а також більшою пристосованістю до інтеграції у сучасні системи АСУ ТП, за рахунок наявності в них різноманітних інтерфейсів зв'язку.

Треба також брати до уваги той факт, що останнім часом вартість сучасних ПЧ майже зіставні за ціною з ППП. Але за функціоналом та можливостями значно перевищують їх.

У випадку кранового обладнання, використання ПЧ дозволяє значно зменшити інерційні навантаження за рахунок зменшення ривків та розгойдування вантажу, також значно підвищується позиціонування крану через можливість його зупинки у точно заданому місці.

Основною характеристикою при виборі ПЧ є потужність електродвигуна яким буде управляти цей ПЧ. Також слід звернути увагу на наявність та кількість дискретних входів/виходів. І звісно ж безпека. ПЧ повинен унеможливити ураження струмом людей, та забезпечувати захист обладнання до якого він підключений.

В нашому випадку ПЧ повинен бути розрахований на потужність щонайменше 4 кВт.

Наразі, зараз на ринку широко представлена продукція відомого виробника Delta Electronics.

Оберемо модель VFD040C43A, з серії VFD-C2000. Дана модель призначена для застосування на підйомно-транспортному обладнанні і має наступні основні характеристики.

Таблиця 2.4 – характеристики ПЧ VFD040C43A

Основні характеристики	
Серія	VFD-C2000
Тип	Для підйомно-транспортного обладнання
Вихідний струм, А	9.5
Потужність двигуна, кВт	4
Напруга живлення, В	3Ф/380В, 50/60 Гц +/- 5%
Вихідна напруга, В	3Ф/380 В
Вихідна частота, Гц	0,1 ... 600 Гц
Здатність перевантаження	170 %

Вологість зовнішнього середовища	до 90% без конденсації
Степінь захисту IP	IP20
Вбудований ПЛК	Так
Вбудований потенціометр	Ні
Гальмівний модуль	Вбудований
Протокол порту зв'язку	Modbus
Плати розширення	DeviceNet/ CANopen(DS402)/ PROFIBUS-DP/ MODBUS TCP/ EtherNet/IP
Кількість дискретних (транзисторних) виходів	3
Кількість/Тип аналогових входів	3 (0-5(10)V або 0(4)-20mA)
Кількість/Тип аналогових виходів	1 (0-10V або 0(4)-20mA)
Кількість/Тип дискретних входів	10 (NPN перехід, 24 В DC, 8 mA/12 В DC, 4 mA)
Кількість/Тип релейних виходів	2 (250 В AC, 3 А / 30 В DC, 3 А)
Векторне управління потоком без датчика (SVC)	Так
Векторне управління з зворотнім зв'язком	Опція
Скалярне (V/f) управління	Так
Захист	
Від перевищення моменту	Так
Від пониженої та підвищеної напруги живлення	Так
Струмообмеження при розгоні	Так
Електронне теплове реле захисту двигуна	Так

На наступних рисунках наведені схема підключення двигуна до силової частини перетворювача, а також схема підключення допоміжних, додаткових елементів, та систем комунікації, до низьковольтної частини,

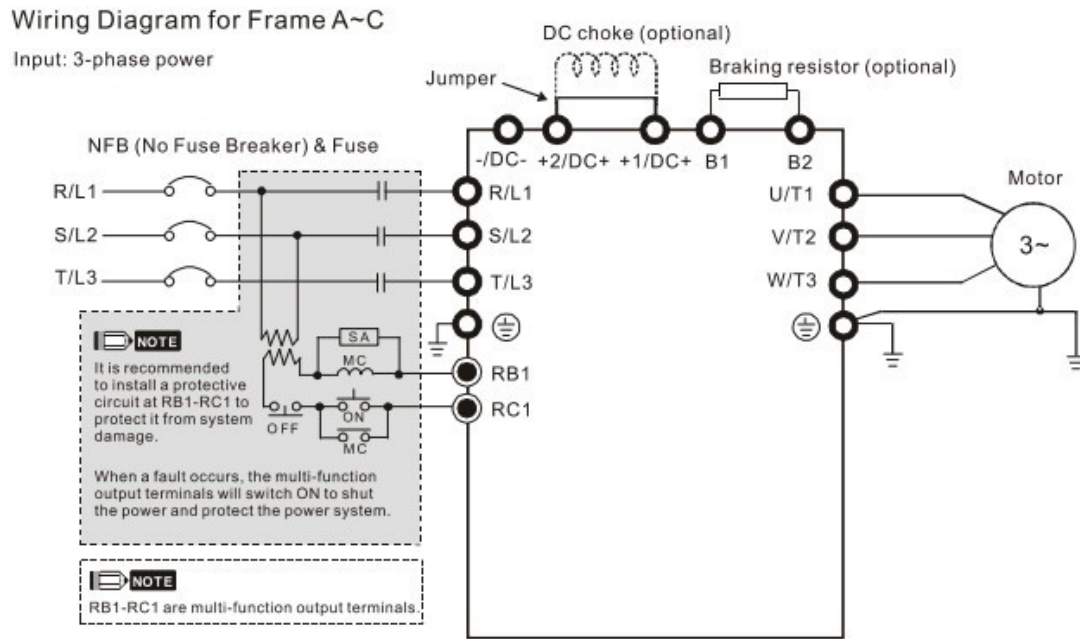


Рисунок 2.5 – Підключення силової частини ПЧ.

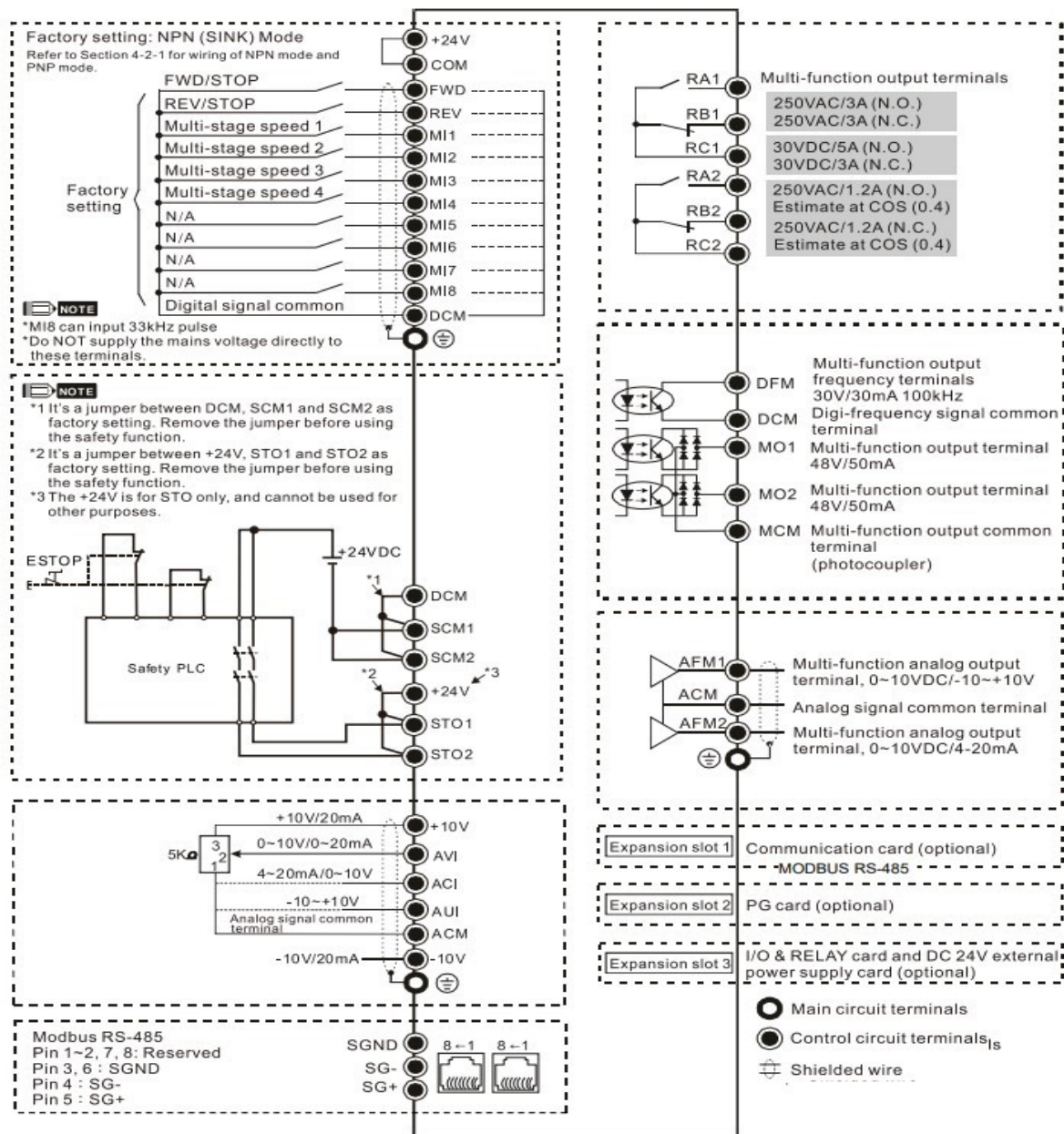


Рисунок 2.6 – Підключення низьковольтного обладнання ПЧ.

Як бачимо, обраний нами ПЧ Delta Electronics VFD040C43E в повній мірі відповідає нашим вимогам що до управління двигуном АІММ112МВ6.

Якщо взяти за основу схему з рисунку 2.6 та інтегрувати у неї обраний нами ПЧ, то спрощена схема включення буде мати вигляд наведений на рисунку 2.7.

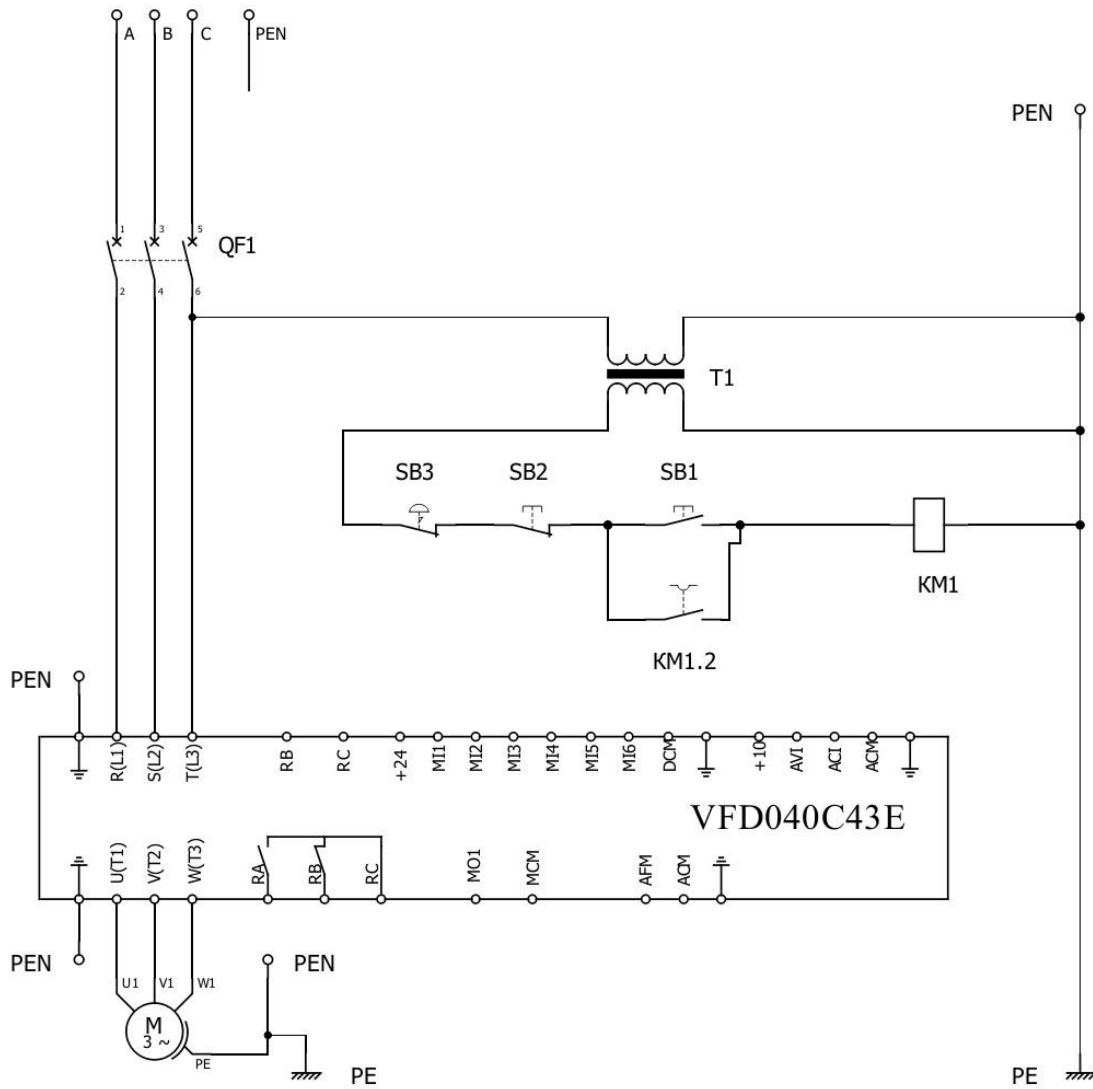


Рисунок 2.7 – Спрощена схема включення ПЧ для керування двигуном.

Як можна помітити на схемі відсутнє теплове реле та контактна група KM1:1 магнітного пускача. Справа в тому, що дана модель ПЧ вже обладнана вбудованим тепловим реле, та іншими системами захисту.

Живлення ПЧ відбувається безпосередньо від трифазної мережі 380 В 50Гц, напруга якої подається на клеми L1 – L3 через аварійний вимикач QF1. Наявність різного типу входів та релейних виходів дозволяє реалізувати різноманітні схеми аварійної зупинки двигуна в залежності від наявності блокуючих сигналів на дискретних чи аналогових входах.

У мінімальній комплектації, обраний нами ПЧ вже має підтримку промислового протоколу MODBUS через інтерфейс RS-485. Також є додаткові слоти для встановлення плат розширення. В залежності від побудованої на підприємстві АСУ ТП є можливість додатково придбати плати з підтримкою низки інших протоколів, таких як MODBUS TCP, PROFIBUS, EtherNET IP та ін.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДВИГУНА

3.1 Математичне представлення електродвигуна.

Дослідження режимів роботи електропривода поршневого компресора при різних реалізаціях системи керування здійсимо на математичній моделі. Для проведення досліджень використаємо середовище Simulink математичного пакету MathLab. Для цього нам необхідно створити математичні моделі як двигуна, так і всіх необхідних додаткових елементів: навантаження, перетворювача, задатчиків тощо.

Для дослідження роботи асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором, в середовищі Matlab використовується модель яка може бути отримана представленням рівнянь в системі координат x - y , пов'язаній дійсною віссю x з вектором напруги статора, яка обертається з синхронною швидкістю. Система координат x - y є комплексною прямокутною системою координат, в якій вісь x дійсна, а вісь y – уявна та випереджає вісь x на 90^0 .

Для опису моделі двигуна використовуються наступні рівняння:

$$\bar{U}_s = \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + i\omega_c \bar{\psi}_s \quad (3.1)$$

$$\bar{U}_r = \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + i(\omega_c - \omega p)\bar{\psi}_r \quad (3.2)$$

де \bar{U}_s та \bar{U}_r – узагальнені вектори напруги статора та ротору відповідно;

\bar{I}_s та \bar{I}_r – узагальнені вектори струму статора та ротору відповідно;

$\bar{\psi}_s$ та $\bar{\psi}_r$ – узагальнені вектори потокозчеплення статора та ротору;

R_s та R_r – активні опори статора та ротору;

ω_c – кутова швидкість обертання системи координат;

ω – кутова швидкість обертання ротору двигуна;

p – кількість пар полюсів двигуна.

В свою чергу із векторами пов'язані такі параметри двигуна, як індуктивність статора та ротору, а також взаємна індуктивність.

$$\bar{\psi}_s = \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m \quad (3.3)$$

$$\bar{\psi}_r = \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r \quad (3.4)$$

Отже для вирішення цих рівнянь нам необхідно розрахувати опори статора й ротору, а також їхні індуктивності, щоб підставити ці значення, які властиві для вибраного нами двигуна, до програмного забезпечення математичного моделювання.

3.2 Розрахунок параметрів двигуна для математичної моделі.

Для того щоб програмне забезпечення Simulink максимально наближено обчислювало математичну модель нашого двигуна, необхідно надати йому параметри цього двигуна.

Деякі параметри, такі як потужність, напруга живлення та частота, ми беремо з паспорту двигуна (табл. 2.3). Але опор статора і приведений опор ротору та їхні індуктивності доведеться розрахувати.

Спочатку розрахуємо приведений опор ротору:

$$R_r = \frac{P_H + \Delta P_M}{3 \cdot I_H^2 \cdot \frac{1 - S_H}{S_H}} \quad (3.5)$$

де P_H – номінальна потужність двигуна, $P_H = 4000$ Вт;

ΔP_M – механічні втрати прийняті за 3,5% від P_H , $\Delta P_M = 140$ Вт;

I_H – номінальний струм двигуна, $I_H = 9,4$ А;

S_H – номінальне ковзання, $S_H = 0,046$.

Тоді приведений опор ротору має значення:

$$R_r = 0,764 \text{ Ом.}$$

Тепер ми можемо використати це значення для розрахунку активного опору статора:

$$R_s = \frac{U_H \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta)}{\sqrt{3} \cdot I_H} - C^2 \cdot R_r - \frac{\Delta P_m}{3 \cdot I_H^2} \quad (3.6)$$

де C – коефіцієнт приведення, який обирається початково з діапазону 1,01...1,05, тому візьмемо $C = 1,03$.

Підставивши значення параметрів з паспорту двигуна, та розрахованого вище R_r отримаємо значення для R_s :

$$R_s = 1,606 \text{ Ом.}$$

Також, для використання математичної моделі необхідно розрахувати приведені індуктивності ротору та статору. Для цього скористуємося наступними формулами.

Для приведеної індуктивності розсіяння ротору:

$$L_r = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot 4\pi \cdot f \cdot (1 + C^2) \cdot k_i \cdot I_H} \quad (3.7)$$

Та для індуктивності статору:

$$L_s = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f \cdot I_H \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f \cdot M_M \cdot S_H}{p \cdot U_H} \cdot \frac{S_H}{S_{KP}}} \quad (3.8)$$

Підставивши значення параметрів двигуна та з проведених вище розрахунків, для індуктивностей отримаємо:

$$L_r = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$L_s = 68,7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Тоді індуктивність контура:

$$L_m = L_s - L_r \quad (3.9)$$

буде дорівнювати

$$L_m = 00655 \text{ Гн.}$$

Тепер ми можемо уточнити коефіцієнт приведення C :

$$C = 1 + \frac{L_r}{L_m} \quad (3.10)$$

Провівши декілька ітерацій розрахунків отримаємо значення:

$$C = 1,0476.$$

Отримавши усі необхідні значення внесемо їх до відповідних полів властивостей моделі електродвигуна (рис. 3.1).

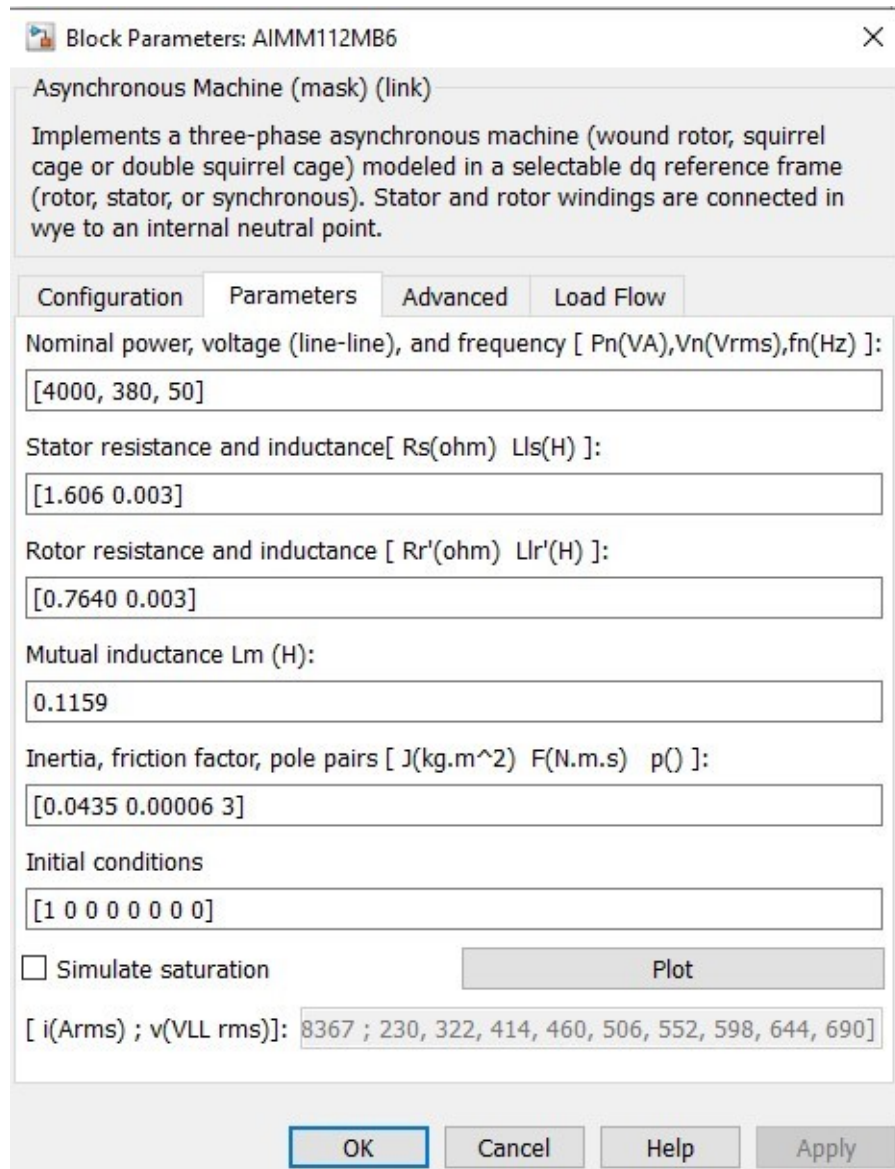


Рисунок 3.1 – Вигляд вікна властивосте моделі двигуна у Simulink.

3.3 Математична модель прямого пуску.

Для того щоб провести моделювання необхідно побудувати модель схеми прямого пуску. Тобто на схемі моделі повинні бути, окрім двигуна, джерело живлення, вимірювальні прилади та задатчик навантаження.

Для спрощення моделювання ми не будемо вносити до схеми елементи автоматики за захисту. На рис. 3.2 наведена схема моделі прямого пуску електродвигуна.

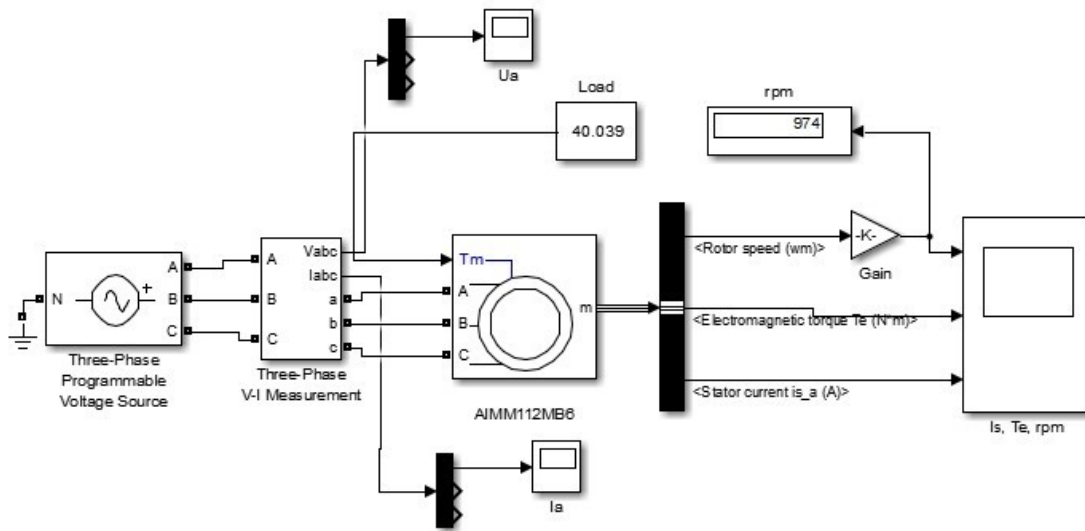


Рисунок 3.2 – Модель схеми «прямого пуску» у Simulink.

На схемі, зліва, присутнє трифазне джерело живлення (Three Phase Voltage Source), також після джерела розташований трифазний вимірювач напруги та струму, до якого під'єднана модель нашого електродвигуна. До інформаційного виходу двигуна підключена сигнальна шина, з якої ми можемо отримувати необхідну інформацію. Так на віртуальний осцилограф, в нашій моделі, виводяться дані про оберти ротора двигуна, електромагнітний момент та струм статора.

На рисунках нижче представлені часові зміни швидкості обертання ротору, електромагнітного моменту та струму статора під час моделювання пуску електродвигуна. Час досягнення ротором моделі номінальної швидкості обертання становить приблизно 0,5...0,6 секунд (рис. 3.3). При цьому, під час розгону пусковий струм сягає максимальних значень (рис. 3.4), а момент досягає пускового рівня і з досягненням ротора номінальної швидкості, знижується до свого номінального рівня (рис 3.5).

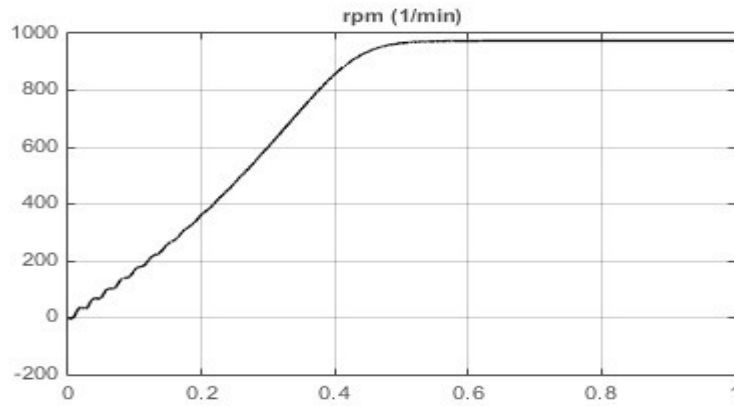


Рисунок 3.3 – Швидкість обертання ротору математичної моделі двигуна.

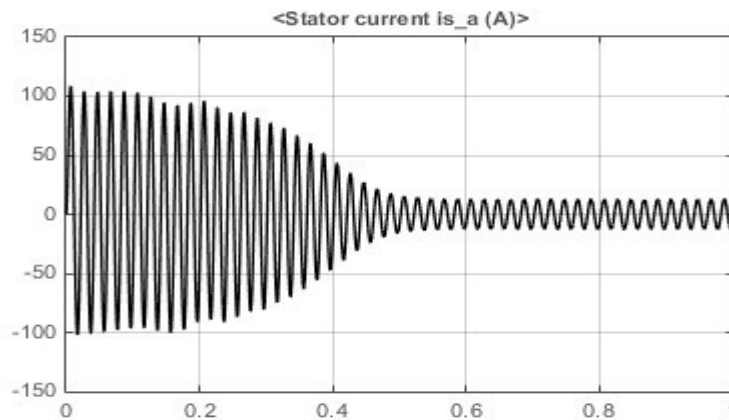


Рисунок 3.4 – Струм статора математичної моделі двигуна.

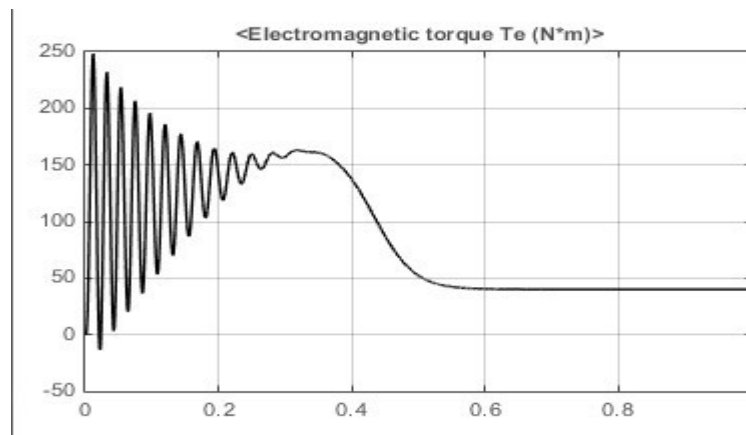


Рисунок 3.5 – Електромагнітний момент математичної моделі двигуна.

Ці результати корелюють із експериментальними даними лабораторних досліджень аналогічних двигунів. Тобто, в момент пуску двигуна, різкий стрибок

джерела підключена модель двигуна до якого, як і в попередній схемі, підключені вимірювальні прилади, на яких ми будемо спостерігати часові залежності швидкості, струму та моменту (рис. 3.7...3.9).

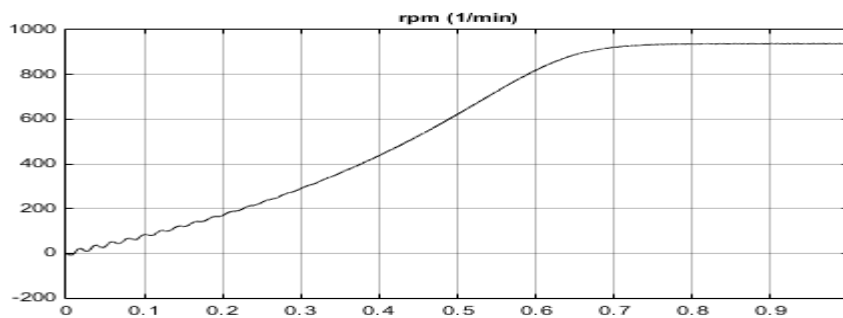


Рисунок 3.7 – Швидкість ротору моделі із ПЧ.

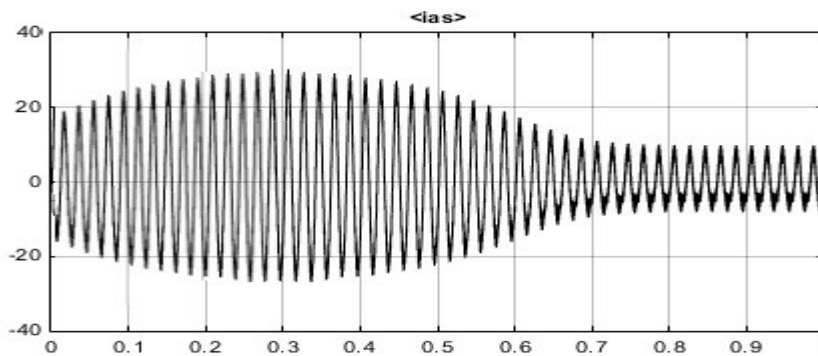


Рисунок 3.8 – Струм статора моделі із ПЧ.

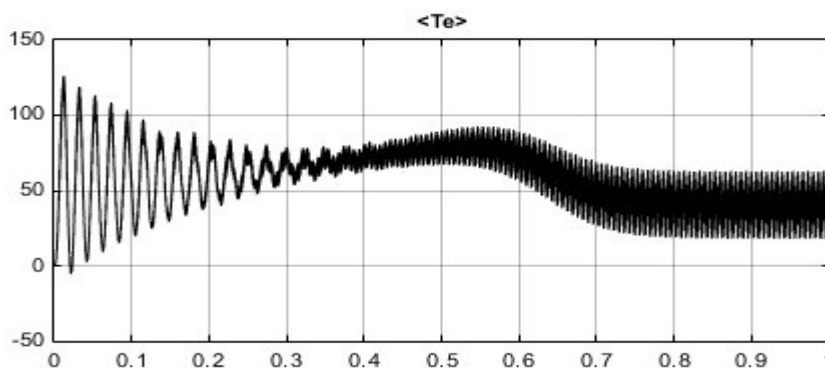


Рисунок 3.9 – Електромагнітний момент моделі із ПЧ.

Як можна побачити з результатів моделювання, час досягнення ротором моделі номінальної швидкості обертання збільшився до 0,7...0,8 с. Натомість, струм статора не має різких стрибків в момент пуску, і під час розгону двигуна не сягає високих пускових значень, що в реальності призводить до значної економії електроенергії, зниження «ударних» навантажень на двигун та робочу машину, що також сприяє подовженню строку служби всього механізму.

4 РОЗДІЛ ПРО МОНТАЖНІ ТА РЕМОНТНІ РОБОТИ

4.1 Організація монтажу електроприводу порталного кратцер-крану.

Монтаж та введення в експлуатацію порталного кратцер-крану є складним та багатоетапним процесом. Його повинна виконувати компанія виготовник крану, або сертифікований нею компанія підрядник, згідно затвердженої проектної документації. Усі етапи, починаючи з проектування, повинні проводитись із залучанням та під наглядом представників механічної служби підприємства, та спеціалістів інших підрозділів.

Монтаж електроприводів ходових візків крану може виконуватись спеціалістами механічної, або ремонтної, служби підприємства, які пройшли необхідні інструктажі та мають відповідну кваліфікацію. Ці роботи також виконуються згідно проектної документації, та з дотриманням правил безпеки. Обладнання, яке буде встановлюватись, перевіряється на відповідність характеристикам вказаним у проекті та специфікаціям виробника.

Монтаж електроприводів робочих машин потребує проведення комплексу підготовчих заходів, а саме:

- вивчення схем підключення нового обладнання, та їх відповідність до наявного устаткування;
- підготовка, перевірка та, при необхідності, повірка необхідного для виконання робіт інструменту та приладів;
- перевірка наявності необхідних витратних матеріалів і при необхідності складання переліку необхідних позицій для замовлення;
- складання графіку виконання робіт, згідно якому буде виконуватись монтаж та взаємодія зі спеціалістами різних підрозділів.

Усі роботи повинні проводитись при знеструмленому обладнанні крану, опущеними стрілами крану на вивільнену від сировини ділянку складу, та при порожньому вивантажувальному та завантажувальних конвеєрах.

Згідно з Правил Безпечної Експлуатації Електроустановок (ПБЕЕС) [X], на дверях до приміщення де знаходиться головний рубильник повинні бути розташовані попереджувальні знаки, встановлені нормами. На вимкненому головному рубильнику повинна бути встановлена табличка «НЕ ВМИКАТИ. Працюють люди».

Конструкція кріплення ходового візку до порталу крану дозволяє виконувати роботи з його заміни, ремонту, модернізації та технічного обслуговування проводити без необхідності демонтажу крану, а лише при його піддомкращуванні. При цьому візок виводиться з під крану для здійснення необхідних робіт.

При плануванні проведення ремонтних робіт, або робіт з обслуговування та модернізації, також мають бути заплановані роботи з перевірки стану кранових колій. При цьому перевіряється стан як самих рейок, так і підрейкових елементів і місця кріплення рейок до цих елементів. Рейки кранових колій перевіряються на наявність внутрішніх пошкоджень.

4.2 Організація робіт з модернізації.

Роботи з ремонту або модернізації порталного крану проводяться згідно розробленим планом робіт. До виконання робіт допускаються працівники які мають необхідну кваліфікацію, групу допуску, та пройшли інструктажі зазначені у вимогах до виконання робіт.

Згідно вимог розділу VIII [X], система керування електроприводами має унеможливити:

- самостійний пуск електродвигунів після відновлення електропостачання;
- пуск електродвигунів не відповідно до заданої схеми;
- пуск електродвигунів контактами пристроїв безпеки.

При монтажі електроприводів перевіряють співвісність вихідних валів електродвигунів, редукторів тощо. Якщо відхилення становить більше встановленої нормованої величини то проводять центрування валів. Перевіряють наявність мастильних речовин у підшипниках та інших вузлах. При необхідності змащують вузли приводів, електродвигунів, редукторів тощо.

Перед монтажем електродвигуна перевіряється опір ізоляції ротора та статора. Виміри проводяться мегомметром. Згідно з ПТЕЕС ізоляція ротора електродвигунів напругою менше 1 кВ, перевіряється напругою 500 В, а статора, напругою 1000 В. Результати вимірів заносяться в протокол проведення робіт. Для статора, опір ізоляції не повинен бути меншим за 1,0 МОм.

Також проводять перевірку електродвигуна в режимі холостого ходу. Тривалість даної перевірки не повинна бути меншою ніж 60 хв.

Проводиться вимірювання опору ізоляції вторинних, контурів керування, сигналізації та блокування. Вимірювання проводяться мегомметром із напругою 500 В. При цьому опір ізоляції не повинен бути меншим за 0,5 МОм. Результати вимірювань також заносять до протоколу проведення робіт.

Якщо проводилася заміна чи модернізація якихось елементів приводу ходового кранового візку, перед пуском крану в експлуатацію необхідно перевірити, та за потреби налаштувати, систему керування швидкістю переміщення візків. Це робиться задля запобігання перекосу крану та зходу його з кранових рейок. Щоб цього не сталося, ходові візки з обох кінців порталу крана повинні рухатися з однаковою швидкістю уникаючи «забігання» одного з візків. При наявності різниці в швидкостях, вносяться зміни в налаштування системи керування одним з візків.

4.3 Організація робіт з обслуговування та ремонту.

Технічно обслуговування та ремонт портального крану здійснюється згідно затвердженого графіку проведення ППР.

У процесі експлуатації проводиться щодобовий огляд вузлів кратцер-крану. Він виконується у відповідні технічні зміни, або під час технологічного простою крану, особами обслуговуючого та чергового ремонтного персоналу. Щодобовий огляд включає у себе:

- перевірка стану стріл, та лебідок якими регулюється їх кут нахилу;
- перевірка стану та натягнення скребкового ланцюгу та скребків;
- перевірка стану приводів ходових візків, ходових коліс та їх реборд;

- перевірка кріплень електродвигунів, редукторів тощо, на наявність розхитаних болтових з'єднань;
- виявлення місць витіку мастила;
- якщо перед оглядом кран працював не менше години то перевіряється температура вузлів підшипників, електродвигунів, редукторів;
- перевірка відсутності перешкод на рейках та справність пристроїв для розчищення колії.

Усі виявлені недоліки повинні бути усунені до наступного включення кратцер-крану. Результати огляду повинні бути занесені до журналу технічного обслуговування із вказуванням дати та часу проведення огляду.

При ремонтному обслуговуванні виконуються вище зазначені дії щодобового огляду, а також:

- перевіряється співвісність вихідних валів електродвигунів, редукторів тощо, та при необхідності проводиться центрування валів;
- проводиться перевірка наявності мастильних матеріалів у підшипникових вузлах електродвигунів, редукторів тощо, та при необхідності проводиться додавання або поновлення мастил;
- проводиться повний огляд болтових з'єднань, при виявленні послаблених з'єднань виконується підтягування болтів.
- перевіряється стан лебідок та їх тросів на наявність дефектів.

Усі виявлені недоліки повинні бути усунені до завершення ремонтного обслуговування. Результати проведення робіт з огляду та усунення недоліків заносяться до журналу ремонтного обслуговування.

При зіставленні графіку проведення ППР та ремонтного обслуговування кратцер-крану треба брати до уваги вимоги виробників обладнання яке встановлене на крані до термінів проведення технічного обслуговування та ремонтів. Дані вимоги вказуються в технічній документації, або в додатках до проекту.

4.4 Безпека та охорона праці при проведенні робіт на порталному крані.

Портальний кратцер-кран відноситься до механізмів підвищеної небезпеки групи Б. Згідно нормативно правових норм з охорони праці, до самостійних робіт на таких механізмах допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань, а також пройшли навчання і перевірку теоретичних знань та практичних навичок, знання інструкцій з охорони праці і які мають кваліфікаційне посвідчення із записом про допуск до виконання таких робіт. При виконанні робіт на висоті що перевищує 1,3 м, працівники не повинні мати медичних протипоказань для виконання таких робіт. Працівники які допускаються до робіт з обслуговування та модернізації крану повинні мати III групу з електробезпеки. Забороняється допуск до роботи в електроустановках осіб які не пройшли навчання та перевірку знань ПБЕЕС [х].

При технічному обслуговуванні або модернізації забороняється:

проводити роботи на включеному в мережу, або працюючому крані;

проводити роботи під піднятими та не закріпленими стрілами крану;

проводити роботи без встановленого або при несправному заземленні;

переміщення працівників та вивантаження обладнання на відвал з сировиною;

Двері приміщень електроустановок таких як щити, збірки тощо, повинні бути постійно замкнені. Для кожного приміщення повинно бути щонайменше 2 комплекти ключів. Ключі повинні бути пронумеровані та знаходитись на зберіганні у оперативних або адміністративно-технічних працівників.

Роботи з модернізації кранових електроприводів відносяться до робіт які виконуються в електроустановці (або її частині) в котрій з струмоведучих частин знята напруга, та доступ в електроустановки (або її частини) які знаходяться під струмом, унеможливлений.

Якщо роботи проводяться поблизу струмоведучих частин необхідно щоб ці частини були огорожені для запобігання випадковому торканню. Такі роботи повинні виконуватись у діелектричному взутті, або стоячи на ізолюючій підставці чи

на діелектричному килимку. Інструмент при цьому повинен мати ізолюючі рукояті, або роботи повинні виконуватись у діелектричних рукавицях.

Якщо для виконання робіт необхідне використання драбин, помостів тощо, то вони повинні відповідати вимогам ДСТУ або ТУ на них. Основа драбин, які встановлюються на гладкі поверхні, повинні бути оббиті гумою, а на драбинах що встановлюються на землі, повинні бути гострі металеві наконечники. При необхідності встановлення приставних драбин на підкранових балках, елементах металоконструкцій тощо, необхідно надійно закріпити верх та низ драбин до цих конструкцій.

Перед початком виконання робіт необхідно затвердження переліку робіт які виконуються за нарядом, або за розпорядженням. Визначаються особи відповідальні за безпечне ведення робіт. Проводиться підготовка робочих місць.

Після завершення проведення робіт виконуються наступні дії:

виведення бригади з робочого місця;

зняття тимчасових огорожень та плакатів;

зняття заземлень;

встановлення на місце постійних огорожень та плакатів;

закриття на замки дверей, приміщень.

Включення електроустановок може бути здійснене лише після повного завершення робіт. Проводити включення можна лише після отримання дозволу від працівника який має право видачі такого розпорядження. Дозвіл на включення електроустановки може бути виданий лише після отримання сповіщень від усіх допускаючих та керівників робіт про повне завершення робіт на даній електроустановці.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Визначення економічної ефективності.

Проведемо розрахунок економічної ефективності яку ми отримаємо від модернізації електроприводу ходових візків порталного кратцер-крану.

Спочатку проведемо порівняння переваг модернізованої системи над попередньою її реалізацією. Отже ми отримаємо наступні переваги:

- значне зменшення витрат електроенергії враховуючи режим роботи електроприводу ходового візку;
- через вдосконалення режимів керування електроприводом зменшуються інерційні навантаження на конструкцію крану, що призводить до зменшення зносу рухомих механізмів;
- збільшення строку служби механізмів ходового візку;
- збільшення міжсервісних інтервалів, а відповідно зменшення витрат;
- підвищення надійності системи керування;
- розширення можливостей інтеграції системи до АСУ ТП без витрат на додаткове обладнання автоматизації.
- можливість безпосереднього контролю за станом та характеристиками електроприводу.

Отже скористаємося стандартною методикою визначення ефективності запровадженої модернізації. Вона полягає у порівнянні економічної ефективності попереднього (не модернізованого) та нового (модернізованого) варіантів.

Основними показниками ефективності впроваджених технічних рішень є: річні витрати; економічний ефект; та термін окупності капітальних витрат.

Економічний ефект має декілька складових, а саме:

- ефект викликаний збільшенням терміну служби обладнання та зниженням витрат на ремонти;
- ефект через можливість заміни двигунів на менш потужні;
- та ефект від зниження витрат на електроенергію.

В нашому випадку визначення ефективності буде мати вигляд:

$$E = (C_1 - C_2) - E_n \cdot K_v \quad (5.1)$$

де C_1 – експлуатаційні витрати за не модернізованим варіантом;

C_2 – експлуатаційні витрати за модернізованим варіантом;

E_n – нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень, який для нової техніки становить, $E_n = 0,20$;

K_v – сума капітальних витрат.

Експлуатаційні витрати C визначаються сумою витрат на обслуговування та ремонт, фонду заробітної плати та витрат на споживану електроенергію

$$C = C_{OP} + C_{\Phi 3} + C_{EL} \quad (5.2)$$

де C_{OP} – витрати на обслуговування та ремонт;

$C_{\Phi 3}$ – фонд заробітної плати;

C_{EL} – вартість споживаної електроенергії.

Параметр експлуатаційних витрат C визначається як для старого C_1 варіанта, так і для нового C_2 .

$$C_1 = C_{OP1} + C_{\Phi 31} + C_{EL1} \quad (5.3)$$

$$C_2 = C_{OP2} + C_{\Phi 32} + C_{EL2} \quad (5.4)$$

Отже формула розрахунку терміну окупності термін буде мати вигляд

$$T_o = \frac{K_{v2} - K_{v1}}{C_1 - C_2} \quad (5.5)$$

де T_0 – термін окупності в роках;

K_{v1} – капітальні вкладення старого (не модернізованого) варіанту;

K_{v2} – капітальні вкладення нового (модернізованого) варіанту;

C_1 – експлуатаційні витрати старого варіанту;

C_2 – експлуатаційні витрати нового варіанту.

5.2 Розрахунок економічних показників.

Для початку розрахуємо капітальні вкладення обох варіантів. Для зручності представимо їх у вигляді таблиці.

Таблиця 5.1 – Капітальні вкладення для обох варіантів.

Найменування обладнання	кількість, од.	вартість за од., грн.	
		стара	нова
Контакторна схема	1	5000	0
ПЧ VFD040C43A	1	0	15000
Електродвигун АИММ112МВ6	1	12000	12000
Усього вартість обладнання		17000	27000
Транспортні витрати 7,5 %		1275	2025
Монтажні та пусконаладжувальні роботи 10 %		1700	3700
Капітальні вкладення загалом		19975	31725

З таблиці ми отримуємо значення K_{v1} та K_{v2} .

$$K_{v1} = 19975 \text{ грн.}$$

$$K_{v2} = 31725 \text{ грн.}$$

Далі нам необхідно визначити значення експлуатаційних витрат C_1 та C_2 . Для цього треба розрахувати показники $C_{\Phi 30}$, C_{EL} та C_{OP} для обох варіантів.

5.3 Розрахунок фонду заробітної плати.

Витрати на фонд заробітної плати будуть однаковими для обох варіантів, через те що для обслуговування нового обладнання не має потреби у найманні додаткових співробітників і усі роботи можуть виконуватися наявними службами підприємства.

Отже, згідно ПБЕЕС, для обслуговування обладнання необхідно щонайменше двоє співробітників які мають групу електробезпеки не нижче третьої, та розряд не нижче четвертого.

Коефіцієнт до тарифної ставки погодинної оплати, для працівників що мають 4-й розряд, становить 1,27. Згідно внесених змін до постанови КМУ №1298, посадовий оклад працівника першого розряду становить 3195 грн. Приймаючи це до уваги отримаємо заробітну плату за цим тарифом

$$Z_M = 1,27 \cdot 3195 = 4057, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Також, при розрахунках необхідно брати до уваги надбавку за професійну та майстерну діяльність, оплату праці за шкідливі умови, премії

Надбавка за професійну діяльність становить 10%, тобто:

$$H_{ПД} = Z_M \cdot 0,1 = 4057 \cdot 0,1 = 406 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Оплата за шкідливі умови:

$$Z_{ШУ} = \frac{(Z_M + H_{ПД}) \cdot H_{ШУ 4}}{100} = \frac{(4057 + 406) \cdot 17}{100} = 759 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Тоді постійна заробітна плата за місяць складатиме:

$$Z_{ПМ} = Z_M + H_{ПД} + Z_{ШУ} = 4057 + 406 + 759 = 5222 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Оплата премій становить від 15% до 25%. Для зручності візьмемо середнє значення 20%. Тоді ЗПР буде дорівнювати:

$$Z_{ПР} = \frac{Z_{ПМ} \cdot 20}{100} = \frac{5222 \cdot 20}{100} = 1045 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

На підставі цих розрахунків маємо величину основної заробітної плати $Z_{ОСН}$.

$$Z_{ОСН} = Z_{ПМ} + Z_{ПР} = 5222 + 1045 = 6267 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

При цьому додаткова заробітна плата становитиме:

$$Z_{ДОД} = Z_{ОСН} \cdot 0,1 \quad (5.12)$$

$$Z_{ДОД} = 6267 \cdot 0,1 = 627 \text{ грн.}$$

Також треба врахувати відрахування у фонд соціального страхування у розмірі 37,18% від $Z_{ОСН}$ та $Z_{ДОД}$:

$$B_{ФС} = \frac{37,18 \cdot (Z_{ОСН} + Z_{ДОД})}{100} = \frac{37,18 \cdot 6895}{100} = 2564 \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Враховуючи попередні розрахунки знайдемо річний фонд заробітної плати для одного працівника:

$$C_{ФЗ} = (Z_{ОСН} + Z_{ДОД} + B_{ФС}) \cdot 12 \quad (5.14)$$

$$C_{ФЗ} = (6267 + 627 + 2564) \cdot 12 = 113496 \text{ грн.}$$

Відповідно для двох працівників 4 розряду, річний фонд заробітної плати буде становити 226 992 грн.

Враховуючи той факт що порталний кран має 2 ходових візки та обслуговується однією бригадою, то фонд заробітної плати для обслуговування одного візка складатиме:

$$C_{\phi 30} = \frac{C_{\phi 3}}{2} = 113496 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок витрат на обслуговування та електроенергію.

Щоб остаточно визначити значення показників C_1 та C_2 треба розрахувати втрати на електроенергію C_{EL} , та витрати на обслуговування та поточний ремонт C_{OP} для обох варіантів.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$C_{EL} = P_n \cdot t_{3M} \cdot t_P \cdot k \quad (5.15)$$

де P_n – споживана потужність двигуна, $P_n = 4,0$ кВт;

t_{3M} – час роботи двигуна за одну зміну; $t_{3M} = 8$ год.;

t_P – кількість робочих змін за рік, $t_P = 264$ дні;

k – тариф на електроенергію, $k = 2,64$ грн/кВт·год.

Підставляючи ці дані в формулу (5.15) отримуємо значення C_{EL1} для не модернізованого варіанту:

$$C_{EL1} = 4,0 \cdot 8 \cdot 264 \cdot 2,64 = 22303 \text{ грн.}$$

Беручи до уваги що встановлення ЧП на електродвигуни, які працюють в режимі S3, дозволяє економити понад 20% електроенергії, то для модернізованого варіанту отримаємо значення C_{EL2} :

$$C_{EL2} = C_{EL1} - 0,2 \cdot C_{EL1} \quad (5.16)$$

Тоді:

$$C_{ЕП2} = 22303 - 0,2 \cdot 22303 = 17842 \text{ грн.}$$

Для розрахунку витрат C_{OP} на обслуговування та ремонт необхідно визначити планові витрати на поточний ремонт, витрати амортизаційних відрахувань, та витрати на допоміжні матеріали.

Планові витрати на поточний ремонт B_{P1} та B_{P2} розраховуються в розмірі 5% та 3% від капіталовкладень K_{v1} та K_{v2} для не модернізованого та модернізованого варіантів відповідно.

$$B_{P1} = 0,05 \cdot K_{v1} \quad (5.17)$$

$$B_{P2} = 0,03 \cdot K_{v2} \quad (5.18)$$

Тоді, відповідно до даних з таблиці 5.1:

$$B_{P1} = 0,05 \cdot 36975 = 1849 \text{ грн.}$$

$$B_{P2} = 0,03 \cdot 58725 = 1761 \text{ грн.}$$

Відрахування на амортизацію B_{AM1} та B_{AM2} для електричного обладнання становлять 7,8% від капіталовкладень.

$$B_{AM} = 0,078 \cdot K_v \quad (5.19)$$

Тоді:

$$B_{AM1} = 0,078 \cdot K_{v1} = 0,078 \cdot 36975 = 2884 \text{ грн.}$$

$$B_{AM2} = 0,078 \cdot K_{v2} = 0,078 \cdot 58725 = 4580 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали B_{DM1} та B_{DM2} розраховуються в розмірі 5% та 3% від фонду оплати праці $Z_{ФР0}$ для не модернізованого та модернізованого варіантів відповідно.

$$B_{DM1} = 0,05 \cdot Z_{ФР0} \quad (5.20)$$

$$B_{DM2} = 0,03 \cdot Z_{\Phi P0} \quad (5.21)$$

Тоді:

$$B_{DM1} = 0,05 \cdot Z_{\Phi P0} = 0,05 \cdot 113496 = 5675 \text{ грн.}$$

$$B_{DM2} = 0,03 \cdot Z_{\Phi P0} = 0,03 \cdot 113496 = 3405 \text{ грн.}$$

Тоді для витрат C_{OP1} та C_{OP2} маємо вирази:

$$C_{OP1} = B_{P1} + B_{AM1} + B_{DM1} \quad (5.22)$$

$$C_{OP2} = B_{P2} + B_{AM2} + B_{DM2} \quad (5.23)$$

Відповідно отримаємо значення:

$$C_{OP1} = 1849 + 2874 + 5675 = 10398 \text{ грн.}$$

$$C_{OP2} = 1761 + 4580 + 3405 = 9746 \text{ грн.}$$

Підставляючи усі отримані значення до формул (5.3) та (5.4) і беручи до уваги що $C_{\Phi31} = C_{\Phi32} = C_{\Phi30}$ маємо:

$$C_1 = C_{OP1} + C_{\Phi30} + C_{EL1} = 10398 + 113496 + 22303 = 146197 \text{ грн.}$$

$$C_2 = C_{OP2} + C_{\Phi30} + C_{EL2} = 9746 + 113496 + 17842 = 141084 \text{ грн.}$$

Отримавши всі необхідні показники, ми можемо розрахувати термін окупності модернізації за формулою (5.5)

$$T_o = \frac{K_{v2} - K_{v1}}{C_1 - C_2} = \frac{58725 - 36975}{146197 - 141084} = 4,25 \text{ роки.}$$

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих математичних моделей і електроприводів ходового візка кратцер-крану, які використовуються для розвантаження та транспортування сипучих матеріалів. За їх допомогою досягається найшвидше вивільнення складських площин. При цьому потік сировини та його швидкість є дуже прогнозованими, що дозволяє мінімізувати простій транспортних засобів на які відбувається відвантаження.

2. Розглянуто режими роботи і навантаження кратцер-крану, технічні характеристики механізму, вимоги до системи автоматичного управління електроприводу, що вплинуло на вибір в якості електроприводу асинхронного двигуна з перетворювачем частоти.

3. Проведено розрахунок потужності електроприводу ходового кранового візка, що використовується для організації процесу перевантаження сировини.

4. Проведено аналіз і розрахунок основних вузлів і елементів роботи кранового комплексу. Всі прилади, передбачені на роботи кранового комплексу, забезпечують безпечну експлуатацію машини, дано їх опис і призначення. Зроблено розрахунок і вибір двигуна, програмованого логічного контролера, перетворювача частоти. Виконано моделювання структурної схеми комплексної моделі роботи кранового комплексу, проведено аналіз отриманих результатів дієдатності спроектованої системи.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. В. Савченко, І. М. Голодний; ліра, 2021 р., 532 с.
2. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
3. Грабко В.В. Електропривод підприємств АПК: навч. Посіб. / В.В. Грабко, С.М. Левицький. – Вінниця, ВНТУ, 2012. – 198 с.
4. Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним корегуванням: Навчальний посібник. – Львів, Видавництво НУ „Львівська політехніка”, 2004. – 312 с.
5. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний – К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 316 с.: іл
6. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
7. Технічні характеристики АІММ112МВ6.
Режим доступу: <https://slemz.com.ua/elektrodviguni/zagalnopromyslovi/elektrodvygun-air-112mv6-4kvt-1000obhv>
8. Василега П.О., Муріков Д.В. Електропривод робочих машин: Навч. Посібник. – Суми: Університетська книга, 2006. – 228 с.
9. Допустимі довготривалі струми для проводів, шнурів, кабелів з гумовою або пластмасовою ізоляцією. Витяг з нормативних актів України
Режим доступу: http://norma.org.ua/document/legislation/PUE7/1_3_2.php#google_vignette
10. Системи програмного та слідкуючого керування рухом [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи

автоматизації, електропривод та електромобільність» / В.І.Геряєв, С.В.Король. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 150 с.

11. Розробка та дослідження електромеханічних систем автоматизації та складових електропривода / М.Г.Попович, В.І.Кострицький та ін. - Навчальний посібник з грифом МОН України. – К: КНУТД, 2011. – 492 с.

12. Електричні машини. Асинхронний двигун : метод. вказівки до виконання курсової роботи: бакалаврів спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / Є. П. Штепа, О. Ю. Розіна ; Каф. електромеханіки та мехатроніки. — Одеса: ОНТУ, 2024. — 38 с.

Режим доступу: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONANT.2254930>

13. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Поточна редакція. — Редакція від 21.02.2017.

Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>

14. Моделювання електромеханічних систем : підручник / [Чорний О.П., Луговий А.В., Родькін Д.Й., Сисук Г.Ю., Садовой О.В]. – Кременчук, 2001. – 410 с.

15. Перетворювач частоти Delta Electronics VFD040C43E manual

Режим доступу: <https://simpletech.com.ua/ua/chastotni-peretvoriuvachi/delta-electronics-vfd040c43e>