

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ТЕМА РОБОТИ

«Електромеханічне обладнання козлового крану складу готової продукції
в умовах блюмінгу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Виконав:

студент групи ЕЕМ-21-1	_____	Р.О. Волошин
Керівник випускної роботи	_____	к.т.н., доц. О.В. Ільченко
Нормоконтролер	_____	к.т.н., доц. О.В. Ільченко
Декан ЕТФ	_____	к.т.н., доц. В.О. Федотов
Гарант освітньої програми	_____	к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Електротехнічний

Кафедра: Електромеханіки

Освітньо-професійна програма першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти: «бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика,

електромеханіка та електромеханіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н. Ігор Пересунько

« _____ » _____ 20____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Волошин Роман Олегович

(прізвищі ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічне обладнання козлового крану складу готової продукції в умовах біюмінгу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник проекту (роботи) _____ Ільченко О.В.

затверджена наказом по КНУ від «12» травня 2025 р. № 248с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «04» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Кран консольно-козловий; розташування: відкритий майданчик; тип кабіни: рухома закритого типу; струм силового кола живлення: трифазний 380 В, 50 Гц; вантажопідйомність крану: 10 т; висота підйому: 10 м; прогін крану: 16 м; виліт консолі: 6,3 м.

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

1. Загальна характеристика електромеханічного обладнання 1.1 Характеристика підприємства 1.2 Опис основних вузлів та характеристика крану 1.3 Визначення системи електропривода для підйомного механізму крану 1.4 Розрахунок потужності двигуна механізму підйому 1.5 Розрахунок параметрів основних вузлів підйомного механізму крану 1.6 Особливості частотного методу регулювання асинхронних двигунів. 2. Аналіз системи електропривода механізму підйому козлового крану 2.1 Частотне керування електроприводом механізму підйому 2.2 Вибір перетворювача частоти для системи електропривода кранового підйому 2.3 Схема заміщення асинхронного приводного двигуна 2.4 Статичні характеристики електропривода підйому 2.5 Заходи з енергозбереження та енергоефективності при експлуатації кранового обладнання 3. Електропостачання 3.1 Розрахунок навантажень та параметрів силових трансформаторів 3.2 Розрахунок струмів короткого замикання 3.3 Вибір обладнання з високовольної сторони 3.4 Розрахунок низьковольтного обладнання

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

презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Ільченко О.В., доцент		
2	Ільченко О.В., доцент		
3	Ільченко О.В., доцент		

7. Календарний план

№за/п	Етапи роботи	Термін виконання	Примітка
1.	1.1 Характеристика підприємства	12.05-13.05	Виконано
2.	1.2 Опис основних вузлів та характеристика	14.05-15.05	Виконано
3.	1.3 Визначення системи електропривода для	16.05-17.05	Виконано
4.	1.4 Розрахунок потужності двигуна механізму підйому	16.05-17.05	Виконано
5.	1.5 Розрахунок параметрів основних вузлів підйомного механізму крану	16.05-17.05	Виконано
6.	1.6 Особливості частотного методу	16.05-17.05	Виконано
7.	2.1 Частотне керування електроприводом механізму підйому	18.05-19.05	Виконано
8.	2.2 Вибір перетворювача частоти для системи електропривода кранового підйому	20.05-21.05	Виконано
9.	2.3 Схема заміщення асинхронного приводного двигуна	22.05-24.05	Виконано
10.	2.4 Статичні характеристики електропривода підйому	25.05-26.05	Виконано
11.	2.5 Заходи з енергозбереження та енергоефективність при експлуатації	27.05-28.05	Виконано
12.	3.1 Розрахунок навантажень та параметрів силових трансформаторів	29.05-30.05	Виконано
13.	3.2 Розрахунок струмів короткого замикання	29.05-30.05	Виконано
14.	3.3 Вибір обладнання з високовольної сторони	30.05-31.05	Виконано
15.	3.4 Розрахунок низьковольтного обладнання	01.06-03.06	Виконано

Дата видачі завдання: «12» травня 2025 р.

Студент _____ Волошин Р.О.

(підпис)

(П.І.Б.)

Керівник роботи (проекту) _____ Ільченко О.В.

(підпис)

(П.І.Б.)

Реферат

__сторінок, __таблиць, __рисунків, __джерел літератури.

Тема кваліфікаційної роботи: «Електромеханічне обладнання козлового крану складу готової продукції в умовах блюмінгу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

В роботі виконано проектування та досліджено козловий кран в умовах складського майданчика на відкритому повітрі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кран виконує переміщення вантажів вагою до 10 т по території майданчика.

У першому розділі роботи приведена коротка характеристика підприємства. Дано опис технологічного об'єкту – консольного козлового крану. Відповідно до необхідних технологічних умов здійснено розрахунок механізму підйому крану, обрано за паспортними даними асинхронний короткозамкнений двигун та циліндричний редуктор. Розглянуті особливості частотного регулювання кранових асинхронних двигунів.

У другому розділі роботи розглянуто вибір частотного перетворювача системи електропривода підйому козлового крану, наведені його функціональні можливості, схема силової частини та технічні параметри. Виконано розрахунок необхідних параметрів схеми заміщення двигуна, побудовано сімейство статичних швидкісних, механічних та енергетичних характеристик при регулюванні за певного закону частотного керування. У даному розділі також розглянуті питання енергозбереження при експлуатації кранового обладнання.

В третьому розділі виконано розрахунок системи електропостачання об'єкту на основі однолінійної схеми. За допомогою списку споживачів електроенергії розраховано та обрано силові трансформатори. Зроблено розрахунок струмів короткого замикання у трьох точках лінії електропостачання крану, включаючи точки високої та низької напруги. Розраховано та обрано за каталожними даними ряд елементів схеми електропостачання промислового об'єкту. Виконано розрахунок кабельної лінії для підключення електрообладнання зі сторони високої напруги. Зроблено вибір високовольтного роз'єднувача. Розраховано та обрано вакуумний автоматичний вимикач та вимірювальний трансформатор струму. Зроблено розрахунок низьковольтного захисного автоматичного вимикача.

Ключові слова: козловий кран, асинхронний електропривод, частотний привод змінного струму, енергоефективність.

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.Р				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Волошин Р.О.			Реферат	Літ.		Арк.	Аркуші
Перевір.		Ільченко О.В.							
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-1			
Н. Контр.		Ільченко О.В.							
Затверд.		Пересунько І.І.							

ЗМІСТ

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.3М					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Волошин Р.О.			Зміст			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Ільченко О.В.								
Реценз.								гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільченко О.В.								
Затверд.		Пересунько І.І.								

Вступ	7
Розділ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	9
1.1 Характеристика підприємства	10
1.2 Опис основних вузлів та характеристика крану	10
1.3 Визначення системи електропривода для підйомного механізму крана	15
1.4 Розрахунок потужності двигуна механізму підйому	18
1.5 Розрахунок параметрів основних вузлів підйомного механізму крану	21
1.6 Особливості частотного методу регулювання асинхронних двигунів	23
Розділ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ КОЗЛОВОГО КРАНУ	25
2.1 Частотне керування електроприводом механізму підйому	26
2.2 Вибір перетворювача частоти для системи електропривода кранового підйому	28
2.3 Схема заміщення асинхронного приводного двигуна	33
2.4 Статичні характеристики електропривода підйому	34
2.5 Заходи з енергозбереження та енергоефективність при експлуатації кранового обладнання	38
Розділ 3. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	41
3.1 Розрахунок навантажень та параметрів силових трансформаторів	42
3.2 Розрахунок струмів короткого замикання	44
3.3 Вибір обладнання з високовольтної сторони	46
3.4 Розрахунок низьковольтного обладнання	51
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

					Зміст	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.ВС							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Волошин Р.О.			Вступ			Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Ільченко О.В.										
Реценз.								гр. ЕЕМ-21-1				
Н. Контр.		Ільченко О.В.										
Затверд.		Пересунько І.І.										

Підйомно-транспортні машини та механізми відіграють ключову роль у механізації та автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт в усіх галузях промисловості. Через інтенсифікацію виробничих процесів, час, витрачений на ці операції, значно зріс. Підвищити продуктивність праці, що є критично важливим для нової економічної моделі, можна завдяки автоматизації саме цих операцій, які наразі автоматизовані менше, ніж основні технологічні процеси.

Оскільки ПТММ є металоємними та вимагають значних ресурсів, вкрай важливо розробляти надійні та ефективні конструкції. Основна мета їхнього впровадження – усунення ручної праці та важких фізичних навантажень при виконанні виробничих операцій.

Будучи невід'ємною частиною механізації у будь-якій галузі, підйомно-транспортні машини є важливим об'єктом для проектування в інженерній освіті. Наприклад, оптимізація технологічних процесів консольно-козлового крана складського майданчика, який виступає енергоємним об'єктом, є актуальним практичним завданням.

					Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.Р1						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Характеристика технологічного об'єкту та електромеханічного обла- днання				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Волошин Р.О.									
Перевір.		Ільченко О.В.									
Реценз.									гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільченко О.В.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

1.1 Характеристика підприємства

АрселорМіттал Кривий Ріг – це найбільший металургійний комбінат в Україні, розташований у місті Кривий Ріг. Він входить до складу глобальної корпорації ArcelorMittal, що є світовим лідером у виробництві сталі та металургійної продукції.

Підприємство реалізує повний виробничий цикл: від видобутку залізної руди до створення кінцевих металопродуктів. Його загальна територія перевищує 27 тисяч гектарів, а виробничі можливості роблять значний внесок у промисловість України. Крім того, комбінат є великим роботодавцем, забезпечуючи тисячі робочих місць у регіоні.

Блюмінговий цех на "АрселорМіттал Кривий Ріг" є одним з ключових підрозділів прокатного департаменту металургійного виробництва.

- **Функція:** блюмінг — це обтискний стан, призначений для первинної обробки сталевих злитків. Він перетворює великі сталеві злитки на так звані "блюми" – заготовки квадратного або прямокутного перерізу (сторона яких зазвичай більша за 125x125 мм). Ці блюми потім використовуються як напівфабрикати для подальшої прокатки на інших станах підприємства.
- **Продукція:** основним продуктом блюмінгового цеху є сталева заготовка (блюм). Ця заготовка призначена для подальшого виробництва дрібносортового та дротяного прокату на інших прокатних станах підприємства. Також блюми можуть відвантажуватися на експорт.
- **Історична довідка:** Блюмінг 1150 на "АрселорМіттал Кривий Ріг" (раніше "Криворіжсталь") був запущений в експлуатацію 18 березня 1958 року. Це стало важливою віхою у розвитку заводу як підприємства з повним металургійним циклом після повоєнної відбудови.
- **Технологічний процес:** у цеху може здійснюватися вогнева зачистка блюмів "в потоці", що забезпечує високу якість продукції.
- **Значення:** блюмінг є початковою ланкою в ланцюгу подальшого прокатного виробництва, переробляючи сирі сталеві злитки у придатні для подальшої обробки форми.

1.2 Опис основних вузлів та характеристика крану

Козлові крани, що належать до мостового типу, функціонують аналогічно до них. Їхня конструкція має специфічні вимоги до електроприводу механізмів пересування через значну вітрову площу та високі вітрові навантаження. Для

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кранів з великими прольотами часто необхідна синхронізація механізмів пересування опор, щоб уникнути пошкоджень металоконструкції [1].

Конструкція та різновиди. Козлові крани поділяються на безконсольні та консольні. Консольні моделі мають міст, довший за відстань між опорами, тому їхні опори виконані у вигляді порталів для переміщення вантажів. Матеріали та транспортні шляхи можуть розташовуватися як у прогоні крана, так і під консолями. Механізми цих кранів приводяться в рух електродвигунами постійного або змінного струму, що живляться через гнучкий кабель або тролейну лінію.

Кран ККС-10 (рис. 1.1) призначений для вантажно-розвантажувальних робіт, здатний піднімати довгомірні вантажі до 10 тон за допомогою траверси. Він складається з несучої ферми, що спирається на дві опори: одну жорстко, іншу шарнірно приєднану. Несуча ферма — це ґратчаста прямокутна конструкція з трьома середніми секціями та двома консолями, з'єднаними болтами. Прогін крана становить 16 м, але може бути зменшений шляхом видалення середньої секції. До нижньої частини несучої ферми прикріплений двотавровий монорельс, по якому рухається вантажний візок з кабіною оператора. Консоль жорсткої опори на 2 м довша, ніж інша, забезпечуючи однаковий виліт гака по обидва боки. Портальні опори крана спираються кожна на два ходові візки, один з яких привідний. Привідні та неprivідні візки кожної опори з'єднані стяжкою. Розташування привідних візків під різними ногами порталних опор покращує умови пересування крана під час розгону та зупинки.

Міст крана має ґратчасту конструкцію прямокутного перерізу. Вертикальні ферми — трикутного типу з додатковими стійками та постійним кроком панелей, їх стрижні виготовлені зі спарених кутників. Горизонтальні ферми — складні, трикутного типу з додатковими елементами для зменшення гнучкості розкосів, їх стрижні складаються з одинарних кутників. У нижній частині мосту підвішений їздовий монорельс, над яким розташований настил з огорожею для проходу вздовж мосту. Міст спирається на жорсткі та гнучкі опори, з'єднані з фермою силовими шарнірами. Відстань між опорами на одній стороні колії дозволяє транспортувати вантажі довжиною від 8 метрів на висоті 8 метрів без розвороту.

Жорсткі опори змінного трикутного перерізу витримують вертикальні, поздовжні та переносні навантаження. Гнучкі опори плоскої конструкції зі швелерними поясами призначені для сприйняття вертикальних та поздовжніх навантажень. Середня частина опор має фланцевий роз'єм для монтажу крана з нижнього положення. Для підтримання однакового кута повороту опор при підйомі мосту кран оснащений канаторичажним блокувальним механізмом.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Доступ та ремонтні майданчики. Вхід на кран здійснюється по огорожених сходах на гнучкій опорі, де також розташований майданчик для входу в кабінку. На правій консолі, на виносних кронштейнах, знаходяться два ремонтні майданчики. Якщо кабіна розташована навпроти посадкового майданчика, вантажний візок знаходиться між ремонтними майданчиками.

Вантажний візок та механізм підйому. По монорельсу прогону переміщуються вантажний візок з механізмом підйому та візок кабіни (у кранів з нерухомою кабіною вона підвішується до кронштейну біля гнучкої опори). Вантажний поліспаст має розгорнуту схему та запасований на траверсу з центральним гаком та двома бічними скобами для строп. Для запобігання розгойдуванню вантажного візка та кабіни, на рамі встановлені катки, що спираються на опорну смугу, приварену вздовж нижніх поясів ферми мосту.

Гнучкий кабель підвішується за допомогою обійм, шарнірно з'єднаних з двокатковими візками, що рухаються по вантажному монорельсу. Для підведення живлення до крана на стяжці встановлений кронштейн. Кран оснащений двома ексцентриковими зачіпками з ручним приводом.

Керування та безпека. Керування механізмами підйому вантажу, пересування вантажного візка та крана здійснюється кулачковими контролерами з кабіни оператора. Кран оснащений необхідними приладами та апаратами для безпечної роботи: обмежувачами крайніх положень, буферними пристроями, опорними деталями, звуковою сигналізацією, сигналізатором тиску вітру та протиугінними зачіпками згідно стандарту РЕВ-725-77.

Живлення крану. Кран отримує електроенергію через гнучкий кабель. Для його намотування в нижній частині гнучкої опори розташований кабельний барабан з вантажним приводом. На тій же осі, але з меншим діаметром, знаходиться другий барабан з канатом, що є частиною поліспаста. До рухомого блоку поліспаста підвішений візок з вантажем, який пересувається по зовнішніх напрямних гнучкої опори.

Коли кабель розмотується, виникає опір, що створює дотичне зусилля. Це зусилля достатнє для обертання обох барабанів. У процесі обертання канат намотується на свій барабан, що призводить до підйому візка з вантажем.

Обмеження та захист. Кран має обмеження по висоті підйому вантажу, а також по пересуванню вантажного візка по монорельсу та крана по крановому шляху. Для цього використовуються кінцеві вимикачі, контакти яких підключені до кола живлення котушок контакторів, що обслуговують ці механізми. При досягненні граничної висоти підйому вантажу, або коли вантажний візок чи кран доходять до крайніх позицій, спрацьовує відповідний кінцевий вимикач, що призводить до знеструмлення та гальмування приводу механізму. Також, за

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою кінцевого вимикача блокуються входні двері кабіни: якщо двері не зачинені, включення механізмів крана неможливе.

Вантажний візок: привод та безпека. Вантажний візок функціонує за допомогою електромотора, барабана, редуктора та інших компонентів підйомного механізму, які монтуються на його рамі. Візок підвішений на двох чотириколісних платформах, що рухаються по нижніх полицях двотаврового монорельса. Для запобігання падінню в разі поломки осей, між колесами на рамі візка приварені упори, що утримують його на монорейці.

На рамі візка встановлено коромисло з катками на кінцях осей. Ці катки слугують опорою на приварені до нижнього поясу несучої ферми смуги, запобігаючи перекосам візка. Нерухомі елементи поліспаста розміщені під візком, між швелерами рами [2,3].

Рух вантажного візка забезпечує однобарабанна лебідка, розташована на несучій фермі над гнучкою опорою, яка використовує канатно-блокову систему.

Привід передається від двигуна до двоступінчастого циліндричного редуктора. Його тихохідний вал, з'єднаний через пальцеву муфту, приводить у рух нарізний барабан. Між двигуном і редуктором встановлено колодкові гальма.

Дві вітки тягового каната, що намотуються на барабан у різних напрямках, забезпечують рух візка. Одна вітка проходить вздовж несучої ферми, використовуючи підтримуючі ролики та напрямні блоки на дальній консолі, кріплячись до рами візка. Інша вітка, огинаючи блоки на ближній консолі, фіксується до візка з протилежного боку. Завдяки цій схемі, коли барабан обертається, одна гілка намотується, а інша розмотується. Для зміни напрямку руху візка електродвигун приводу реверсується.

Механізм підйому та опускання вантажу. Механізмом підйому та опускання вантажу є однобарабанна лебідка з електроприводом. Від двигуна момент передається на редуктор, тихохідний вал якого через зубчасту муфту з'єднаний з вантажним барабаном. На барабані є дві зустрічні нарізки, на які намотуються дві вітки вантажопідйомного каната. Колодкові гальма встановлені на швидкохідному валу редуктора. На вільному кінці вантажного барабана закріплена шестерня, що передає обертання через ведену шестерню на гвинт контрольного вимикача, який контролює гранично допустиму висоту підйому гака. При обертанні гвинта гайка отримує поздовжнє переміщення. При певній кількості обертів барабана, що відповідає граничній висоті підйому гака, гайка тисне на штир кінцевого вимикача, в результаті чого двигун відключається, а гальма зупиняють механізм підйому вантажу.

Вітки вантажопідйомного каната спускаються з барабана, огинають нерухомі блоки поліспаста та закріплюються на траверсі, що має центральний гак

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та дві бічні скоби для стропів. Така схема запасування забезпечує підвіс траверси на двох паралельних і відносно далеко розташованих одна від одної вітках поліспаста, що запобігає перекосам при підйомі вантажів зі зміщеним центром ваги.

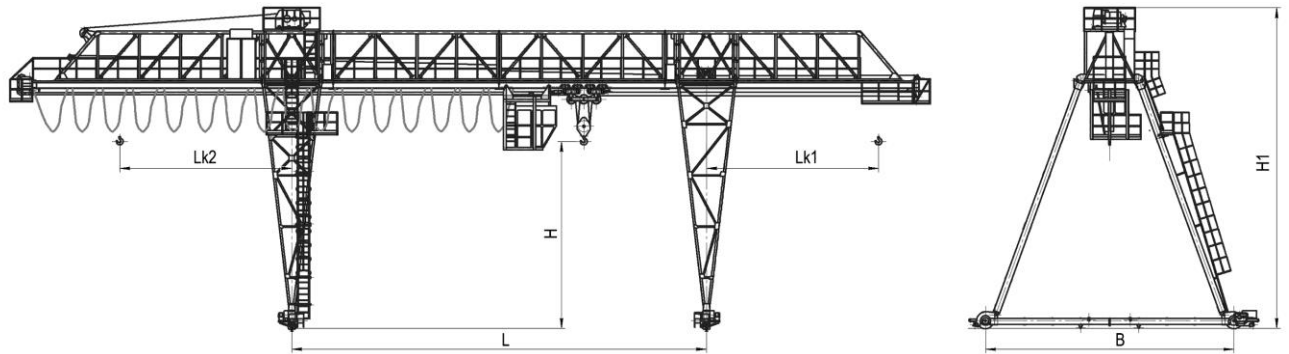


Рисунок 1.1 – Козловий кран ККС-10

Технічні параметри та характеристик козлового крана ККС-10 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Паспортні параметри козлового крана ККС-10

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип крану	консольно-козловий
Призначення	завантажувально-розвантажувальні роботи
Група класифікації режиму роботи крану	A3
Вантажозахватний механізм	гак
Розташування	відкритий майданчик
Тип кабіни	рухома закритого типу
Тип привода	електричний
Температура навколишнього середовища	-40 ÷ +40 °C
Струм силового кола живлення	трифазний 380 В, 50 Гц
Струм робочого освітлення	однофазний 220 В, 50 Гц
Вантажопідйомність крану	10 т
Висота підйому	10 м
Прогін крану	16 м
Виліт консолі	6,3 м
Швидкість основних механізмів:	
- механізму підйому	0,16 м/с
- переміщення крану	0,8 м/с
- вантажного візка	0,8 м/с
Місце керування	з кабіни
Спосіб керування	електричний
Підведення напруги силових кіл:	
- до крана	тролеї
- до вантажного візка	гнучкий кабель
Маса крану	43 т
Тип підкранової рейки	P-43; P-50; P-65
Сумарна потужність двигунів (ПВ=40%)	52,8 кВт (22-2,2x4-5,5x4)
Кліматичне виконання та категорія	У1

Кінематична схема механізму підйому крану показана на рисунку 1.2. Приводний двигун 1 з'єднаний через муфту 2 з швидкохідним валом редуктора. Редуктор 4 циліндричного типу. На цьому валу також розташовані гальма 3, що фіксують швидкохідний вал редуктора під час зупинки двигуна. Тихохідний вал редуктора з'єднаний з барабаном 7 за допомогою муфти 5. Рух гака з корисним вантажем вгору і вниз забезпечується канатом, що проходить через поліспаст 6.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

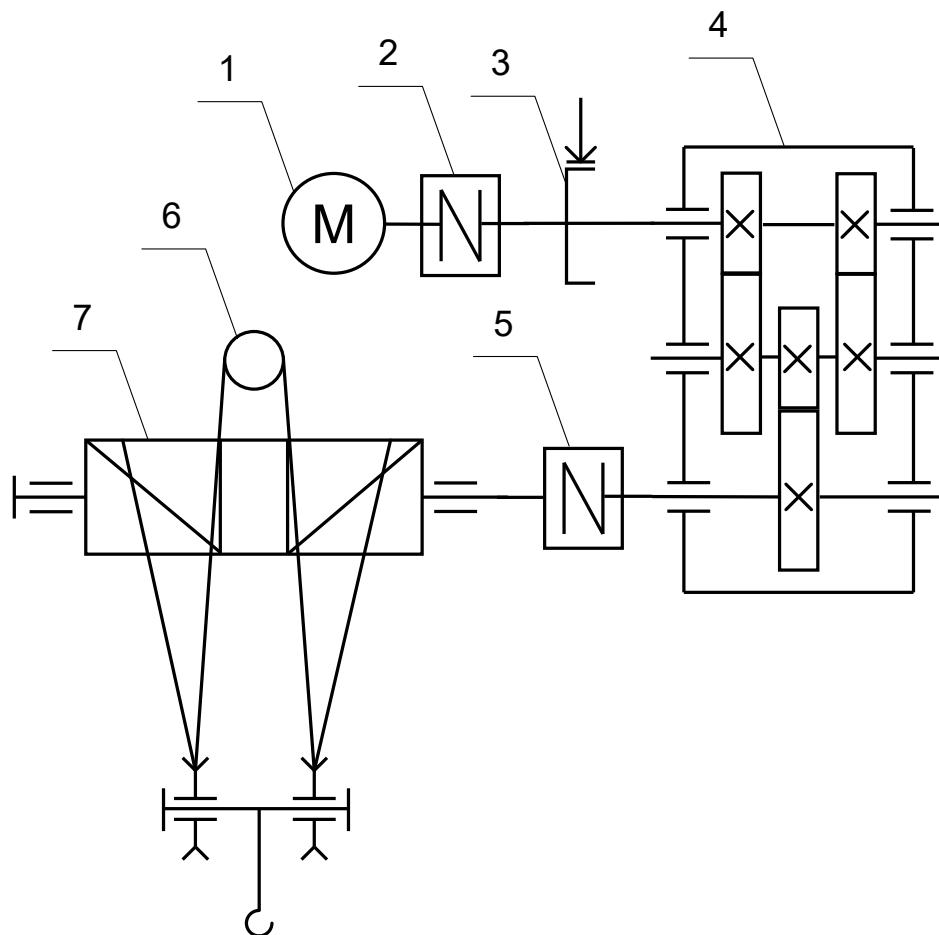


Рисунок 1.2 – Кінематика механізму підйому

1.3 Визначення системи електропривода для підйомного механізму крана

Електроприводи кранового обладнання відрізняються від інших промислових чи спеціалізованих систем низкою унікальних аспектів [3]:

- Режим роботи: механічні параметри приводу охоплюють усі чотири квадранти. Важливо забезпечити плавне перемикання з рушійного в генераторний режим під час спуску вантажів.
- Діапазон швидкості: зазвичай регулювання швидкості не перевищує співвідношення 10:1 при однозонному керуванні.
- Механічна жорсткість: до жорсткості механічних властивостей не висуваються високі вимоги.
- Швидкодія: немає потреби у високій швидкодії системи.

- Температурні умови: температура довкілля коливається від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Усередині виробничих приміщень цей діапазон становить від -25°C до $+40^{\circ}\text{C}$.
- Вологість повітря: середній рівень відносної вологості становить 90% при $+25^{\circ}\text{C}$.
- Забруднення: осад пилу з повітря досягає 5 г/м^2 на добу, а осад кислотних парів – 500 мг/м^2 на добу.
- Механічні впливи: присутні вібрації та поштовхи від руху механізмів, що характеризуються частотою $1\text{--}50 \text{ Гц}$ та прискоренням 5 м/с^2 . Можливі поодинокі повторювані удари з прискоренням до 30 м/с^2 .
- Обслуговування: часто бракує кваліфікованого технічного персоналу.
- Надійність та простота: існують суворі вимоги до легкості використання та стійкості роботи системи.

Електроприводи кранового обладнання розподіляються на дві основні категорії, виходячи з характеру їхнього навантаження: ті, що мають переважно активний статичний момент, і ті, що характеризуються переважно реактивним статичним моментом.

До першої категорії належать приводи підйомних лебідок та лебідок з невірноваженою стрілою. Другу групу складають електроприводи, що відповідають за горизонтальне переміщення механізмів.

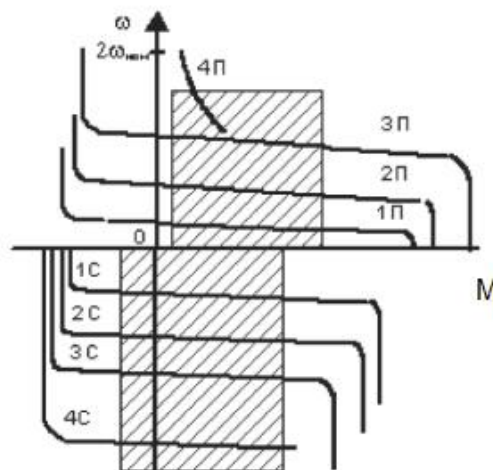


Рисунок 1.3 – Залежність кутової частоти обертання від моменту для електропривода механізму підйому

На рис. 1.3 показані бажані механічні характеристики електроприводів, що використовуються в системах підйому кранових механізмів. Привод має забезпечувати стабільні характеристики за будь-яких навантажень. Для вибору каната потрібна характеристика 1П (знижена швидкість), а для точного позиціонування вантажу – характеристика 1С. Режими опускання вантажу

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охоплюють як четвертий (гальмівний спуск), так і третій (силовий спуск) квадранти.

Для кранів з великою висотою підйому, з метою збільшення продуктивності, необхідно мати можливість швидше піднімати й опускати легкі об'єкти або порожній гак (характеристики 4). Це вимагає від електроприводу підтримки двозонного регулювання швидкості.

Поширені типи двигунів у кранових підйомах. Наразі в кранових підйомних механізмах широко застосовуються системи на базі асинхронних двигунів. Це зумовлено перевагами таких приводів, зокрема їхньою конструктивною простотою, надійністю та відносною доступністю.

Найбільш поширеними в кранових підйомних системах є асинхронні двигуни з фазним та короткозамкненим ротором.

Використання двигунів з фазним ротором обґрунтовується потребою в регульованому приводі через ступінчасте включення активних опорів у коло ротора. На практиці такі системи часто працюють з механічними контролерами для перемикання опорів. Однак, основними недоліками цих систем є невисока надійність через швидке зношування контактних груп та недостатня плавність регулювання швидкості. Істотним мінусом електроприводів з реостатним керуванням є низька енергоефективність, оскільки розсіяна в опорах енергія практично втрачається і не повертається в мережу. Ця проблема стає все більш актуальною зі зростанням цін на електроенергію.

З огляду на вищезазначені фактори, використання систем електроприводів на основі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором набуває більшої актуальності. Бажані характеристики підйомного приводу, згадані вище, можуть бути реалізовані за допомогою частотного керування асинхронним двигуном на базі частотного перетворювача. Система "перетворювач частоти – асинхронний двигун" (ПЧ-АД) забезпечує широкий діапазон регулювання швидкості в поєднанні з високими динамічними та енергетичними показниками.

Частотний метод регулювання є найбільш перспективним і широко застосовується для контролю швидкості обертання асинхронних двигунів. Змінюючи частоту обертання магнітного поля статора пропорційно частоті живильної мережі, можна отримувати різноманітні штучні характеристики двигуна. Використання частотного перетворювача забезпечує плавне регулювання частоти двигуна в широкому діапазоні. Електричні втрати в роторі при цьому порівняно невеликі, що забезпечує високий ККД всієї системи електроприводу.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Розрахунок потужності двигуна механізму підйому

Для кранових систем традиційно розробляються спеціальні моделі електродвигунів змінного й постійного струму. Ці пристрої значно відрізняються від загальнопромислових аналогів за конструкцією магнітопроводу, ефективністю використання електротехнічних матеріалів, електромеханічними властивостями та виконанням.

Електродвигуни в кранових приводах працюють за умов широкого діапазону навантажень, частих пусків і гальмувань, а також значних змін швидкості, як нижче, так і вище номінальної (особливо у приводах постійного струму та тих, що регулюються частотно).

Кранові двигуни оптимізовані для повторно-короткочасного режиму експлуатації. Це характеризується тривалістю включення (ТВ) 15, 25, 40 або 60% при циклі тривалістю до 10 хвилин. Стандартним номінальним режимом для кранових моторів змінного струму є $TB = 40\%$.

Щоб забезпечити високу динаміку під час запуску та гальмування, а також для зниження споживання енергії, двигуни сконструйовані таким чином, щоб момент інерції ротора був максимально малим. Це досягається зменшенням висоти осі обертання при заданій потужності. Електродвигуни мають підвищений запас міцності механічних елементів у порівнянні зі звичайними промисловими двигунами. Роторний пакет завжди кріпиться на валу за допомогою шпонки.

Традиційно, в кранових приводах широко використовуються асинхронні двигуни з фазним ротором. Швидкість і крутний момент таких приводів регулюються шляхом введення резисторів у роторний контур. Для досягнення знижених (посадкових) швидкостей при опусканні вантажу застосовується режим протидії або спеціальні схеми (наприклад, динамічне гальмування самозбудженням).

Існують також варіанти кранових асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (до 30 кВт), які застосовуються в приводах з низькими номінальними швидкостями, що зазвичай не потребують регулювання. Крім того, є дво- та тришвидкісні модифікації кранових електродвигунів.

Всі ці мотори розраховані на живлення від стандартної промислової мережі 220/380 В, 50 Гц. Хоча вони можуть працювати з частотно-регульованими приводами, останнім часом розробляються спеціальні серії асинхронних, включно з крановими, двигунів, оптимізованих для функціонування в таких системах.

Таким чином, сучасні кранові асинхронні двигуни умовно поділяються на моделі з фазним і короткозамкненим ротором для живлення від звичайної мережі, та короткозамкнені двигуни для систем з частотним регулюванням.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Українська промисловість випускає асинхронні кранові електродвигуни обох типів ротора. Для загальнопромислових кранів виробляються двигуни класу ізоляції F, а для металургійного обладнання – класу H. Основні серії фазних двигунів: МТФ, МТН, 4МТФ, 4МТН, 4МТМ; короткозамкнених: МТКФ, МТКН, 4МТКФ, 4МТКН. Короткозамкнені електродвигуни доступні потужністю до 30 кВт. Для менших потужностей випускаються двигуни серій ДМТФ, ДМТКН, АМТФ, АМТКН. Двошвидкісні мотори представлені серіями МТКН, 4МТКН і 5АТ, у шести-, восьми- та десятиполюсному виконанні. Швидкісні обмотки двошвидкісних двигунів також бувають чотириполюсні.

Основне конструктивне виконання двигунів – горизонтальне, на лапах, з одним кінцем валу. Мотори серії 4МТ відрізняються від МТ розмірами для монтажу та приєднання, відповідаючи нормам ІЕС.

Усі габарити електродвигунів виготовляються в закритому корпусі. Мотори потужністю понад 45 кВт додатково доступні в захищеному виконанні з незалежною вентиляцією від зовнішнього вентилятора.

Важливо зазначити, що кранові електродвигуни здебільшого працюють на номінальних швидкостях, де самовентиляція дуже ефективна. Тому незалежна вентиляція застосовується в кранових двигунах для інтенсивних режимів роботи, де значна частка пускових і гальмівних втрат, і де її використання дозволяє уникнути збільшення статичної потужності.

Електродвигун з фазним ротором, обраний для традиційної кранової системи з реостатним регулюванням, завжди має менший рівень пускових втрат при переході на живлення від частотного перетворювача (якщо режим роботи механізму не перевантажується).

Короткозамкнені кранові електродвигуни серій МТ і 4МТ широко використовуються для створення приводів механізмів горизонтального переміщення (наприклад, на баштових кранах), а іноді й у приводах підйомних механізмів [4].

Розраховуємо вантажопідйомну силу, що виникає коли вантаж піднімається із максимально допустимою вагою:

$$F_{\text{в}} = m_{\text{в}} g = 10 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ (Н)} \quad (1.1)$$

Потужність на валу двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_{\text{в}} \cdot v}{\eta_{\text{м}}} = \frac{9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,16}{0,85} = 18,47 \cdot 10^3 \text{ Вт} \quad (1.2)$$

де $\eta_{\text{м}}$ – ККД механізму підйому, v – швидкість підйому, м/с.

На основі виконаних обчислень, доцільно вибрати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором моделі МТКФ 411-6, який має найближчу більшу

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність. Його технічні характеристики представлені в таблиці 1.2, а зображення з габаритними розмірами можна знайти на рисунку 1.3.

Таблиця 1.2 – Паспортні дані електродвигуна привода підйому

Тип	МТКФ 411-6 У1
Потужність при ПВ 40%, кВт	22,0
Номинальна частота обертання, об/хв	935
Частота струму живлення, Гц	50
Номинальна напруга живлення, В	380
Струм статора, А	51
Відношення $M_{\max}/M_{\text{ном}}$	3,3
Відношення $I_{\max}/I_{\text{ном}}$	5,5
$\cos\varphi$	0,79
ККД, %	82,5
Маховий момент ротора, кгм^2	3,0
Тривалість ввімкнення, %	40
Клас нагрівостійкості	F
Маса, кг	255

$$F_{\text{розр}} = F_a \cdot n_k = 2,4 \cdot 10^4 \cdot 4,5 = 10,9 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad (1.5)$$

де n_k – коефіцієнт завантаженості канату, який для групи М5 класифікації механізмів рівний 4,5.

Для вантажопідйомних механізмів загального призначення, де канат навивається в один шар, рекомендовано використовувати шестипрядні сталеві канати подвійної звивки з одним органічним осердям. З огляду на розраховане розривне зусилля, обирається канат типу ЛК-Р 6×19(1+6+6/6)+1. Цей канат має загальний діаметр 15,0 мм і забезпечує розривне зусилля 114 500 Н. Обраний тип каната характеризується лінійним дотиком дротів, при цьому у верхньому шарі дроти мають два різні діаметри.

Необхідний мінімальний діаметр барабану:

$$D_6 = h_1 \cdot d_k = 18,0 \cdot 15,0 = 270 \text{ мм} \quad (1.6)$$

де h_1 – коефіцієнт діаметра барабану, d_k – діаметр обраного канату, мм.

Потрібний діаметр блоку:

$$D_2 = h_2 \cdot d_k = 20,0 \cdot 15,0 = 300 \text{ мм} \quad (1.7)$$

де h_2 – коефіцієнт діаметру блоку.

Потрібний діаметр блоку врівноваження:

$$D_3 = h_3 \cdot d_k = 14,0 \cdot 15,0 = 210 \text{ мм} \quad (1.8)$$

де h_3 – коефіцієнт діаметру блоку врівноваження.

Обираємо найближче значення діаметр барабану з ряду стандартних значень $D_6 = 300 \text{ мм}$.

Швидкість обертання барабану:

$$\omega_6 = \frac{2 \cdot v \cdot \alpha}{D_6} = \frac{2 \cdot 0,16 \cdot 2}{0,3} = 2,13 \text{ рад/с} \quad (1.9)$$

Частота обертання валу двигуна:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 935}{30} = 97,86 \text{ рад/с} \quad (1.10)$$

Передаточне число редуктора:

$$i = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_6} = \frac{97,86}{2,13} = 45,94 \quad (1.11)$$

Приймаємо до встановлення двоступінчастий циліндричний редуктор типу 1Ц2У-250 з передаточним числом 50. Передаточне число редуктора рекомендується обирати таким, що відрізняється від розрахункового не більше ніж на 15%. Проводимо перевірку на відхилення значення:

$$\Delta_i = \frac{|i - i_p|}{i} \cdot 100\% = \frac{|45,94 - 50|}{45,94} \cdot 100\% = 8,8\% \quad (1.12)$$

Отже, передаточне число редуктора відповідає розрахунковим вимогам. Зовнішній вигляд і маркування монтажних параметрів вибраного редуктора показано на рис. 1.4. Його загальні та приєднувальні розміри представлені в таблиці 1.3.

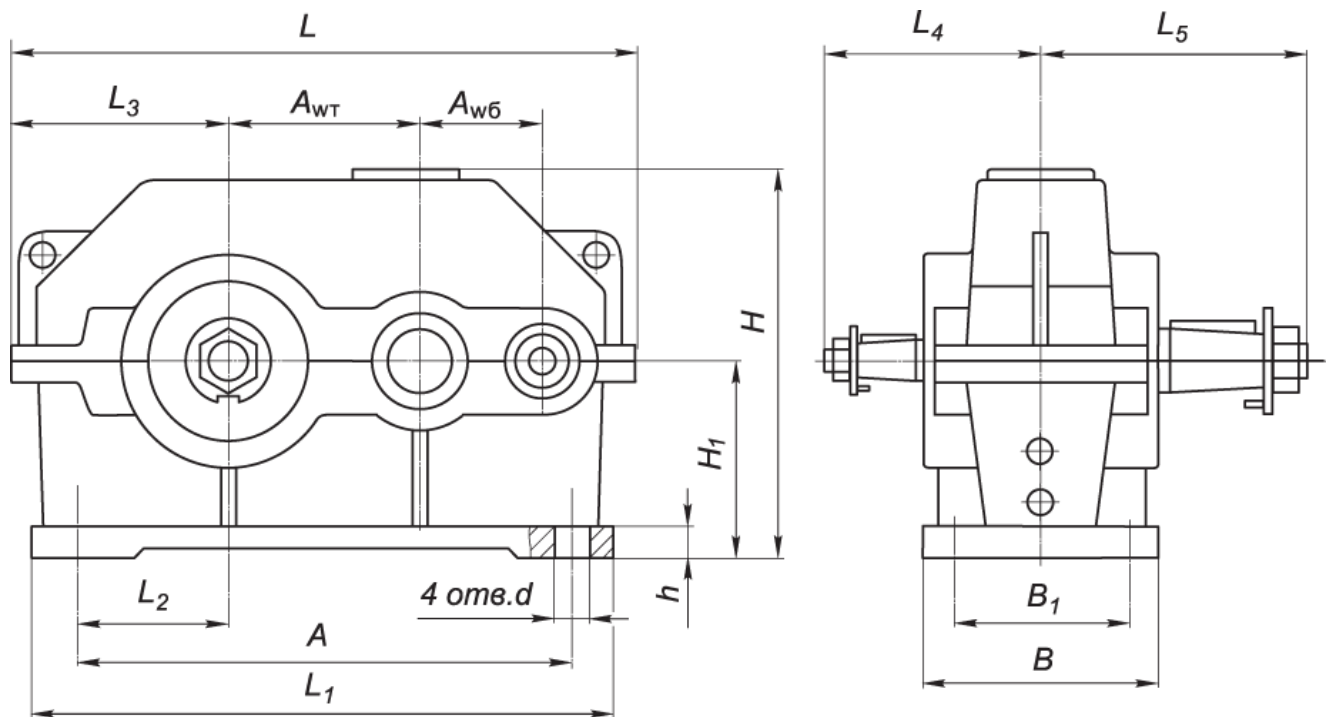


Рисунок 1.4 – Редуктор механізму підйому 1Ц2У-250

Таблиця 1.3 – Розміри редуктора.

A_{WT}	A_{W6}	A	B	B_1	H	H_1	h	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	d
250	160	670	280	218	515	265	32	825	730	212	290	265	335	28

1.6 Особливості частотного методу регулювання асинхронних двигунів

Функціонування асинхронних двигунів з частотним керуванням має свої особливості. Насамперед, таке керування суттєво зменшує втрати енергії в двигунах під час пуско-гальмівних циклів. Це дає змогу використовувати більш високообертові приводи, а при проектуванні двигунів головну увагу приділяти зниженню втрат в обмотках у номінальному режимі.

При проектуванні двигунів для систем частотного регулювання враховуються такі аспекти [5-6]:

- Геометричні розміри: Основні співвідношення між геометричними параметрами, що прийняті для кранових асинхронних двигунів, залишаються незмінними. Це пояснюється тим, що визначальним фактором є режим роботи, а не система керування.
- Перевантажувальна здатність: У сучасних системах з векторним керуванням механічні характеристики формуються системою керування перетворювача. Тому при проектуванні електромоторів, призначених виключно для роботи з перетворювачами частоти, немає потреби в спеціальних заходах для підвищення перевантажувальної здатності та пускового моменту.
- Оптимальні швидкості: Оптимальні швидкості обертання двигунів у таких системах вищі, ніж у звичайних, і становлять 1900-1800 об/хв для легких та середніх режимів роботи, а також до 1000-800 об/хв для важких. Однак, при проектуванні важливо узгоджувати максимальну швидкість двигуна з максимально допустимою швидкістю редуктора.
- Стійкість до частотних змін: Двигуни мають бути працездатними при зростанні вихідної частоти напруги перетворювача в 1.5–2 рази відносно номінальної.
- Зменшення втрат: З метою зменшення втрат, обмотка ротора заливається чистим алюмінієм або виконується мідною, забезпечуючи мінімальне ковзання. Регулювання вихідної напруги та частоти двигуна дозволяє оптимізувати використання його активних частин та забезпечити роботу в режимі мінімальних втрат.
- Нестандартна напруга: Можливе виробництво двигунів на нестандартну напругу, що відповідає вихідній напрузі частотного перетворювача. Всі ці заходи, разом з оптимальним розмежуванням зон регулювання, дозволяють знизити потужність двигуна в частотно-регульованому приводі в 1.5–1.8 рази при однаковому навантаженні.

Спеціалізовані серії кранових двигунів. Вітчизняна промисловість випускає спеціальну серію кранових двигунів для частотно-регульованих електроприводів. До цієї серії входять двигуни типу АД2КД потужністю від 4 до 11 кВт у шести- та чотиріполюсному виконанні з вбудованими дисковими гальмами, а також двигуни 4МТКД потужністю від 22 до 110 кВт у шести- та восьмиполюсному виконанні. Двигуни 4МТКД створені з використанням основних вузлів традиційних моторів серії 4МТН та виготовляються як у закритому виконанні, так

і з вентиляцією, незалежною від зовнішнього вентилятора з електроприводом. Для цих двигунів розроблені автономні гальмівні пристрої з гідроприводом.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ КОЗЛОВОГО КРАНУ

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.Р2			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз системи електропривода механізму підйому козлового крану	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Волошин Р.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересулько І.І.						

2.1 Частотне керування електроприводом механізму підйому

Головна відмінність приводу підйому полягає в активному (потенційному) характері навантажувального моменту. Цей момент завжди має сталий напрямок: вага вантажу постійно намагається опустити механізм. Тому під час підйому (перший квадрант характеристик) привід має долати цей момент, працюючи як двигун. При опусканні (четвертий квадрант) він повинен запобігати вільному падінню вантажу, працюючи в гальмівному режимі. Потенційна енергія, що виділяється під час спуску, бажано має повертатися в мережу живлення або розсіюватися у вигляді тепла спеціальним пристроєм. Стабільна швидкість у гальмівному режимі є ключовою вимогою до приводу підйому та визначає вибір структури силового кола.

Крім того, для більшості приводів підйому існує так званий режим силового спуску. Він виникає, коли статичний момент від легкого вантажу або порожнього гака не долає втрати в механічній частині (редуктор, канатно-блокова система). У цьому випадку привід працює як двигун з невеликим гальмівним моментом (до 10-5% від номінального). Характеристики силового спуску знаходяться у третьому квадранті.

У другому квадранті привід не має сталого режиму, працюючи лише як гальмо, знижуючи швидкість. Оскільки більшість приводів підйому потребують регулювання швидкості, кожен квадрант містить кілька механічних характеристик.

Характеристика 1 у першому квадранті переважно використовується для натягування строп. Характеристика 2 є проміжною. Характеристика 3 забезпечує підйом вантажу з номінальною швидкістю. Характеристика 4, що охоплює перший, третій та четвертий квадранти, застосовується у приводах кранів з великою висотою підйому, наприклад, у баштових. За її допомогою піднімаються та опускаються вантажі, легші за номінальні, з підвищеною швидкістю [5,6].

Найбільший вплив на вибір та структуру системи приводу має характеристика 1, розташована у третьому та четвертому квадрантах. Швидкість опускання вантажу на цій характеристиці називається посадковою. Вона визначається технологічними вимогами до крана і є однією з головних параметрів приводу підйому.

Вимоги до безпеки. Через активний характер навантаження завжди існує ризик падіння вантажу, що загрожує життю людей та пошкодженням обладнання. Тому до механічної та електричної частин висуваються вимоги згідно з правилами «Улаштування та безпечна експлуатація вантажопідйомних кранів», спрямовані на забезпечення безпеки.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перша вимога – обов'язкова наявність у механічній частині гальма "нормально замкнутого типу". Це означає, що при вимкненому приводі механізм завжди має бути загальмований. Гальма повинні мати достатній запас гальмівного моменту, що називається «коефіцієнтом запасу гальмування».

Друга вимога – обов'язкове забезпечення опускання вантажу лише працюючим електродвигуном.

Ці вимоги визначають схемні рішення та побудову силового каналу приводу підйому з частотним перетворювачем:

Привід повинен забезпечувати достатній запас пускового моменту при максимально допустимому навантаженні та максимальному допустимому зниженні напруги.

Розгальмовування механічного гальма має відбуватися лише після того, як електропривід розвине пусковий момент, достатній для підйому вантажу.

Спрацювання будь-якого захисту приводу повинно призводити до його вимкнення та гальмування механічним гальмом.

Частотний перетворювач повинен бути оснащений пристроєм рекуперації або розсіювання енергії гальмування (гальмівний резистор) з потужністю, достатньою для забезпечення опускання вантажу максимальної допустимої маси на номінальній швидкості.

Структурна схема та додаткові елементи. Найбільш поширена структурна схема частотного електроприводу підйомного механізму гакового крана загального призначення представлена на рисунку 2.1.

Керування електромеханічним (або електрогідравлічним) приводом гальма виконується контактором, який вмикається вбудованим релейним виходом частотного перетворювача після того, як електродвигун створить достатній пусковий момент. Для розсіювання енергії гальмування використовується гальмівний резистор, хоча можливе застосування і пристрою рекуперації енергії.

Крім того, деякі приводи можуть містити датчики швидкості та переміщення. Окрім традиційного розташування механічної частини приводу, існує також варіант, при якому механічне гальмо з електромагнітним приводом є єдиним цілим з двигуном.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

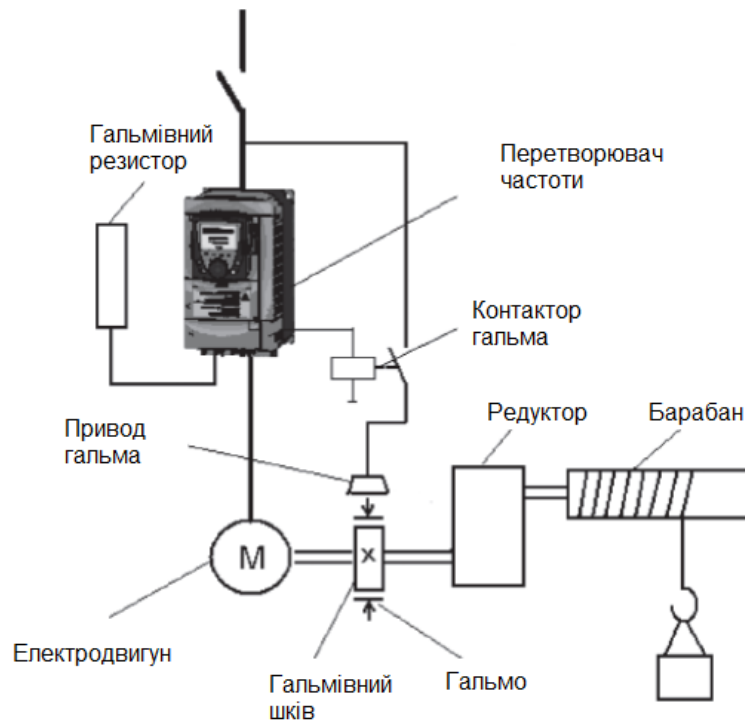


Рисунок 2.1 – Схема частотного керування механізмом підйому крану

2.2 Вибір перетворювача частоти для системи електропривода кранового підйому

На сучасному етапі розвитку електроприводів широко застосовуються комплексні системи, що поєднують силову перетворювальну техніку та різноманітне периферійне обладнання. Воно забезпечує вимірювальні, сигнальні, керуючі та захисні функції. Такими пристроями є комплектні приводи змінного струму, які сьогодні випускають численні світові електротехнічні компанії [5].

Вибір приводу змінного струму базується на кількох ключових факторах, зокрема на потужності приводного двигуна та рівні напруги живлення. У цьому випадку, необхідні параметри:

- Номінальна напруга (U_n): 380 В;
- Номінальна потужність (P_n): 22 кВт.

Цим умовам відповідає привід змінного струму серії ACS880-01, призначений для регулювання швидкості та обертового моменту асинхронних двигунів. Його паспортні технічні характеристики представлені в таблиці 2.1. Загальний вигляд приводу серії ACS880 можна показаний на рисунку 2.2.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Паспортні характеристики привода серії ACS880-01

Серія приво́ду	ACS880-01-045A3
Типорозмір	R4
Напруга мережі живлення, В	380
Но́мінальний струм, А	45
Діапазон напруги перетворювача, В	380÷415, +10%-15%
Частота мережі живлення, Гц	50/60±5%
Вихідна частота перетворювача, Гц	від 0 до ±500
Но́мінальна потужність двигуна, кВт	22
Коефіцієнт потужності в но́мінальному режимі	$\cos\varphi = 0,98$ (основна гармоніка) $\cos\varphi = 0,93\div 0,95$ (сумарний)
ККД, при но́мінальній потужності, %	98
Допустима вологість, %	< 80
Тип охолодження	повітряний
Рівень шуму, дБА	<62
Ступінь захисту	IP21

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Привод змінного струму моделі ACS880 виробника ABB

Приводи серії ACS880-01 мають такі характерні особливості:

- **Захист:** Ступінь захисту корпусу IP21 та IP55, адаптований до різних умов середовища.
- **Зручність:** Легкість монтажу, запуску та обслуговування завдяки компактним розмірам.
- **Температурний моніторинг:** Вбудовані датчики температури для захисту від перегріву.
- **Безпека:** Стандартно встановлений пристрій безпечної нейтралізації моменту (STO) (TUV Nord), а також можливість додавання інших функцій захисту.
- **Інтерфейс:** Зручна панель керування з USB-підключенням.
- **Зберігання даних:** Знімна карта пам'яті для спрощення обслуговування.
- **Програмне забезпечення:** Програма-компонувальник для ПК, що полегшує налаштування та введення приводу в експлуатацію.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Стандартизація: Основне програмне забезпечення керування відповідає єдиному стандарту.
- Сумісність: Блок керування підтримує широкий спектр польових шин, пристроїв зворотного зв'язку та каналів введення/виведення.
- Стійкість: Захищене покриття всіх електронних плат.
- Охолодження: Керування вентилятором охолодження.
- Гальмування: Вбудований гальмівний переривник (для типорозмірів R1-R4).
- Додаткові компоненти: Можливість встановлення ЕМС-фільтра, фільтрів загальних перешкод та du/dt фільтрів для захисту двигуна.
- Інтеграція: Вбудований дросель.

Усі приводи серії ACS880 використовують уніфіковане програмне забезпечення — первинну програму керування. Вбудовані та попередньо налаштовані макроси надають наступні можливості:

- Конфігурація: Базові налаштування входів/виходів та модулів зв'язку з промисловими мережами.
- Керування: Ручне та автоматичне керування для локального та дистанційного режимів.
- Регулювання: Використання ПІД-регулятора для технологічних процесів зі зворотним зв'язком.
- Послідовність: Керування повторюваними циклами.
- Момент: Регулювання крутного моменту.
- Профілі: Використання наборів параметрів користувача для збереження налаштувань декількох приводів.

Додаткові функціональні можливості

- Адаптивне програмування
- Автоматичний сброс
- Автоматичний запуск
- Рівні доступу
- Фіксовані швидкості
- Критичні швидкості та частоти
- Утримання постійним струмом
- Намагнічування постійним струмом
- Діагностика
- Гальмування магнітним потоком

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Керування механічним гальмом
- Зв'язок між приводами для роботи в режимі "ведучий/ведений"
- Живлення від резервного джерела при зникненні вхідної потужності
- ПІД-регулятор з функцією корекції для технологічних процесів
- Імпульсний режим
- Програмовані входи та виходи
- Заздалегідь запрограмовані захисні функції
- Регулятор швидкості з можливістю автоматичного налаштування
- Допоміжні засоби під час запуску
- Скалярне керування з ІЧ-компенсацією
- Налаштовувані користувачем криві прискорення та уповільнення
- Контроль/обмеження навантаження користувачем
- Змінна характеристика регулювання

Особливу увагу приділено функціям захисту та безпеки:

- Функція безпечної зупинки (SS1): запускає процес уповільнення електродвигуна (наприклад, аварійна зупинка), постійно контролює його сповільнення та автоматично активує функцію безпечного відключення моменту. При виконанні зупинки відповідає керованій зупинці згідно зі стандартом EN 60204-1.
- Функція безпечного обмеження швидкості (SLS): запобігає перевищенню електродвигуном заданої безпечної швидкості обертання.
- Функція безпечного керування гальмами (SBC): забезпечує вихідний сигнал безпеки для керування зовнішніми (механічними) гальмами електродвигуна.
- Функція контролю та обмеження максимальної швидкості (SMS): слідкує за тим, щоб вихідна частота приводу не перевищила встановлене значення. Ця функція налаштована на безперервну роботу для захисту, наприклад, від перевищення максимально допустимої конструкційної частоти двигуна.
- Функція безпечної аварійної зупинки (SSE): за бажанням, може бути налаштована на миттєву активацію пристрою безпечної нейтралізації моменту обертання (STO) (категорія зупинки 0), або ж на спочатку уповільнення електродвигуна, а потім, після його повної зупинки, активацію пристрою STO (категорія зупинки 1).

Приводи серії ACS880 оснащені алгоритмом керування двигуном під назвою "Пряме управління моментом обертання" (DTC). DTC дозволяє керувати електродвигуном у всьому діапазоні, від стану спокою до максимального моменту

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та швидкості обертання, без потреби у датчиках положення та енкодерах. DTC також забезпечує підвищену стійкість до перевантажень, високий пусковий момент, а також знижує навантаження на механічні елементи.

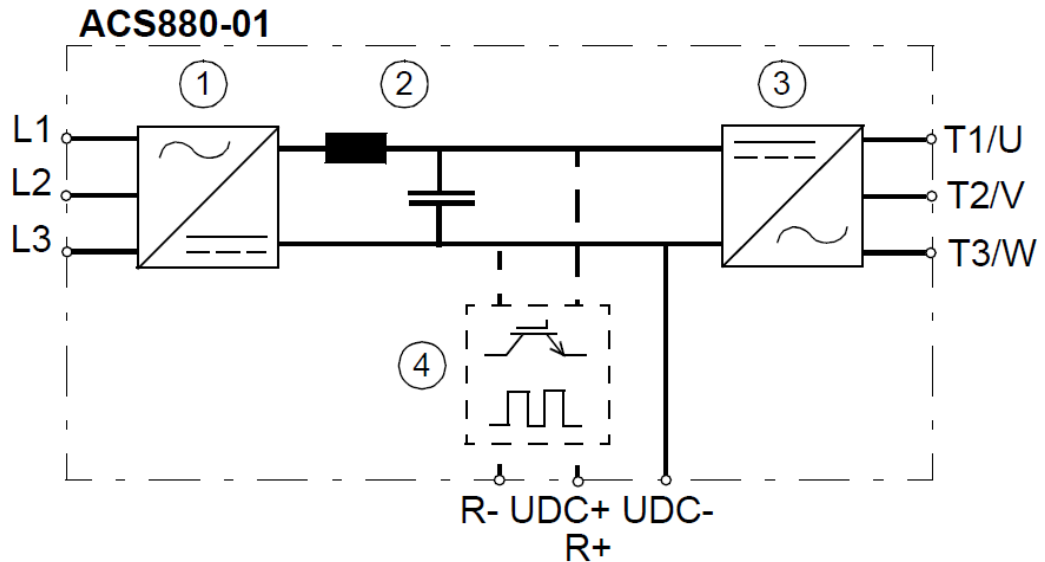


Рисунок 2.3 – Принципова схема привода ACS880

На рисунку 2.3 показано ключові елементи силової частини привода:

1 – випрямляч: перетворює вхідну змінну напругу на постійну.

2 – ланка постійного струму: це коло постійного струму, що з'єднує випрямляч та інвертор.

3 – інвертор: здійснює зворотне перетворення, змінюючи постійний струм на змінний.

4 – гальмівний переривник: призначений для відведення надлишкової енергії з проміжної ланки постійного струму привода до гальмівного резистора. Цей процес активується, коли напруга в ланці постійного струму перевищує встановлену максимальну межу. Таке зростання напруги зазвичай відбувається під час уповільнення (гальмування) двигуна, особливо з великим моментом інерції. За потреби гальмівний резистор встановлюється користувачем окремо.

2.3 Схема заміщення асинхронного приводного двигуна

Із використанням схеми заміщення, яка зображена на рисунку 2.4, розраховуються статичні характеристики асинхронного привода.

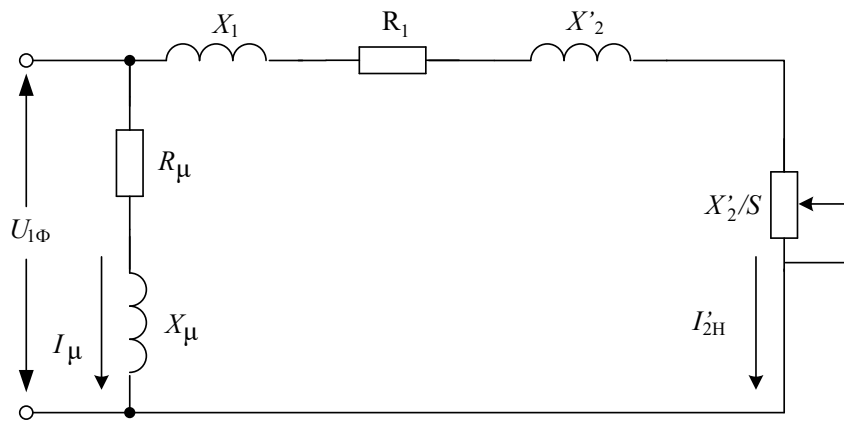


Рисунок 2.4 – Схема заміщення привода підйому
Номінальний струм двигуна [6]:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H\eta_H\cos\varphi_H} = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,825 \cdot 0,79} = 51,28 \text{ А} \quad (2.1)$$

де P_H – номінальна потужність; U_H – номінальна лінійна напруга живлення двигуна; η_H – номінальний ККД двигуна; $\cos\varphi_H$ – коефіцієнт потужності в номінальному режимі роботи.

Номінальний момент двигуна визначається за виразом:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30P_H}{\pi n_H} = \frac{30 \cdot 22000}{3,14 \cdot 935} = 224,7 \text{ Н·м} \quad (2.2)$$

де ω_H – кутова частота обертання двигуна в номінальному режимі роботи, рад/с; n_H – швидкість обертання валу двигуна, об/хв.

Ковзання двигуна (номінальне значення):

$$s_H = \frac{n_c - n_H}{n_c} = \frac{1000 - 935}{1000} = 0,065 \quad (2.3)$$

Коефіцієнт потужності двигуна в режимі пуску:

$$\begin{aligned} \cos\varphi_{\Pi} &= \cos\varphi_H \left[\mu \frac{\eta}{(1-s_H)i_{\Pi}} + v i_{\Pi} (1-\eta) \right] = \\ &= 0,79 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{0,825}{(1-0,065) \cdot 5,5} + 0,33 \cdot 5,5 \cdot (1-0,825) \right] = 0,39 \end{aligned} \quad (2.4)$$

де i_{Π} – кратність пускового та номінального струмів; v – втрати потужності у статорі відносно загальних втрат двигуна, приймається на рівні 0,33; η – ККД асинхронного двигуна.

Повний опір двигуна рівний:

$$Z_{\kappa\kappa} = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H i_{\Pi}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 51,28 \cdot 5,5} = 0,778 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

Приведений активний опір ротора:

$$R_2' = \frac{M_{\text{н}} Z_{\text{кз}}^2}{K} = \frac{224,68 \cdot 0,778^2}{1,475 \cdot 10^3} = 0,092 \text{ Ом} \quad (2.6)$$

де K – коефіцієнт відповідно до виразу:

$$K = \frac{30 U_{\text{н}}^2}{\pi n_{\text{н}}} = \frac{30 \cdot 380^2}{3,14 \cdot 935} = 1,475 \cdot 10^3 \quad (2.7)$$

Активний опір статора:

$$R_1 = Z_{\text{кз}} \cos \varphi_{\text{п}} - R_2' = 0,778 \cdot 0,39 - 0,092 = 0,211 \text{ Ом} \quad (2.8)$$

Індуктивний (повний) опір двигуна:

$$X_{\text{кз}} = Z_{\text{кз}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{п}}} = 0,778 \cdot \sqrt{1 - 0,39^2} = 0,716 \text{ Ом} \quad (2.9)$$

Активний повний опір:

$$R_{\text{кз}} = \sqrt{Z_{\text{кз}}^2 - X_{\text{кз}}^2} = \sqrt{0,778^2 - 0,716^2} = 0,304 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

Індуктивний опір кола намагнічування визначається відповідно до виразу:

$$x_{\text{м}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} I_{\text{хх}}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 28,2} = 7,78 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

де $L_{\text{м}}$ – індуктивність кола намагнічування:

$$L_{\text{м}} = \frac{x_{\text{м}}}{\omega_{\text{с}}} = \frac{7,78}{314} = 0,0248 \text{ Гн} \quad (2.12)$$

де $I_{\text{хх}}$ – струм намагнічування, рівний струму холостого ходу; $\omega_{\text{с}}$ – кутова частота живлення двигуна.

Число пар полюсів двигуна:

$$p = \frac{60 f}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3 \quad (2.13)$$

де n_0 – синхронна швидкість двигуна; f – частота мережі живлення.

2.4 Статичні характеристики електропривода підйому

Швидкісна характеристика асинхронного електропривода, що працює за системою ПЧ-АД відповідає виразу [5]:

$$I_2'(s) = \frac{U_{\text{ф}}}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{\text{кз}} \cdot f')^2 \right]}} \quad (2.14)$$

де s – ковзання двигуна, залежить від кутової частоти обертання, яке розраховується наступним чином:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s(\omega) = \frac{\omega_0 \cdot f' - \omega}{\omega_0 \cdot f'} \quad (2.15)$$

f' – частота живлення двигуна у відносних одиницях, що відповідає відношенню фактичної частоти до номінальної:

$$f' = \frac{f_1}{f_c} = \frac{f_1}{50} \quad (2.16)$$

Підставляючи наведені залежності у вираз маємо рівняння швидкісної характеристики:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f'}{\omega_0 \cdot f' - \omega} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f')^2 \right]}} \quad (2.17)$$

Відповідно до наведеного рівняння, виконується побудова статичних швидкісних характеристик для різних значень частоти живлення двигуна: 10, 20, 30, 40, 50 Гц. В результаті розраховані характеристики, які показані на рисунку 2.5.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

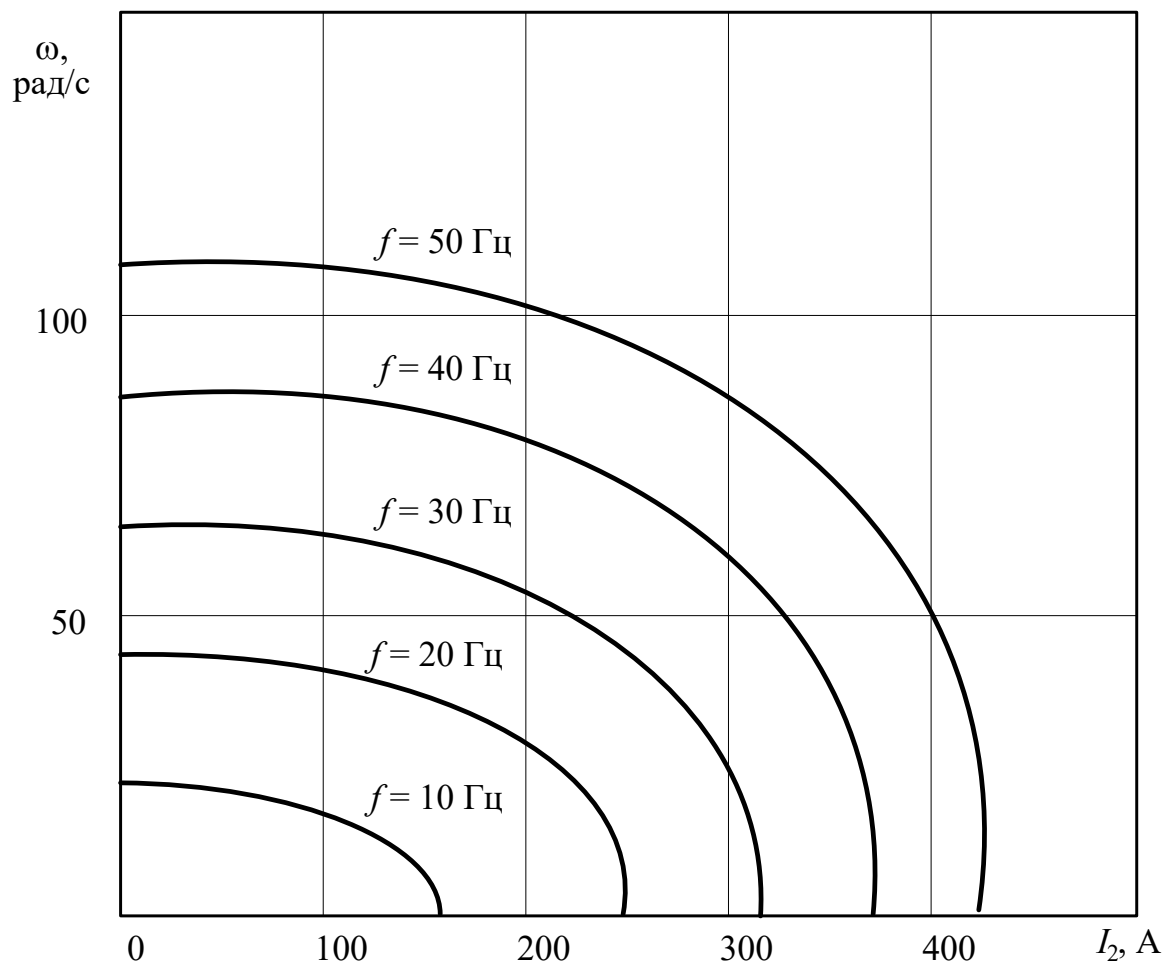


Рисунок 2.5 – Швидкісні характеристики для різного значення частоти живлення

Механічна характеристика двигуна у випадку частотного керуванні відповідає наступному виразу:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi} \cdot \sqrt{f'})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot f'}{\omega_0 \cdot f' - \omega}}{\omega_0 \cdot f' \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot f'}{\omega_0 \cdot f' - \omega} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f')^2 \right]} \quad (2.18)$$

Аналогічним чином, відповідно до наведеного рівняння, виконується побудова статичних швидкісних характеристик для різних значень частоти живлення двигуна: 10, 20, 30, 40, 50 Гц. В результаті розраховані характеристики, які показані на рисунку 2.6.

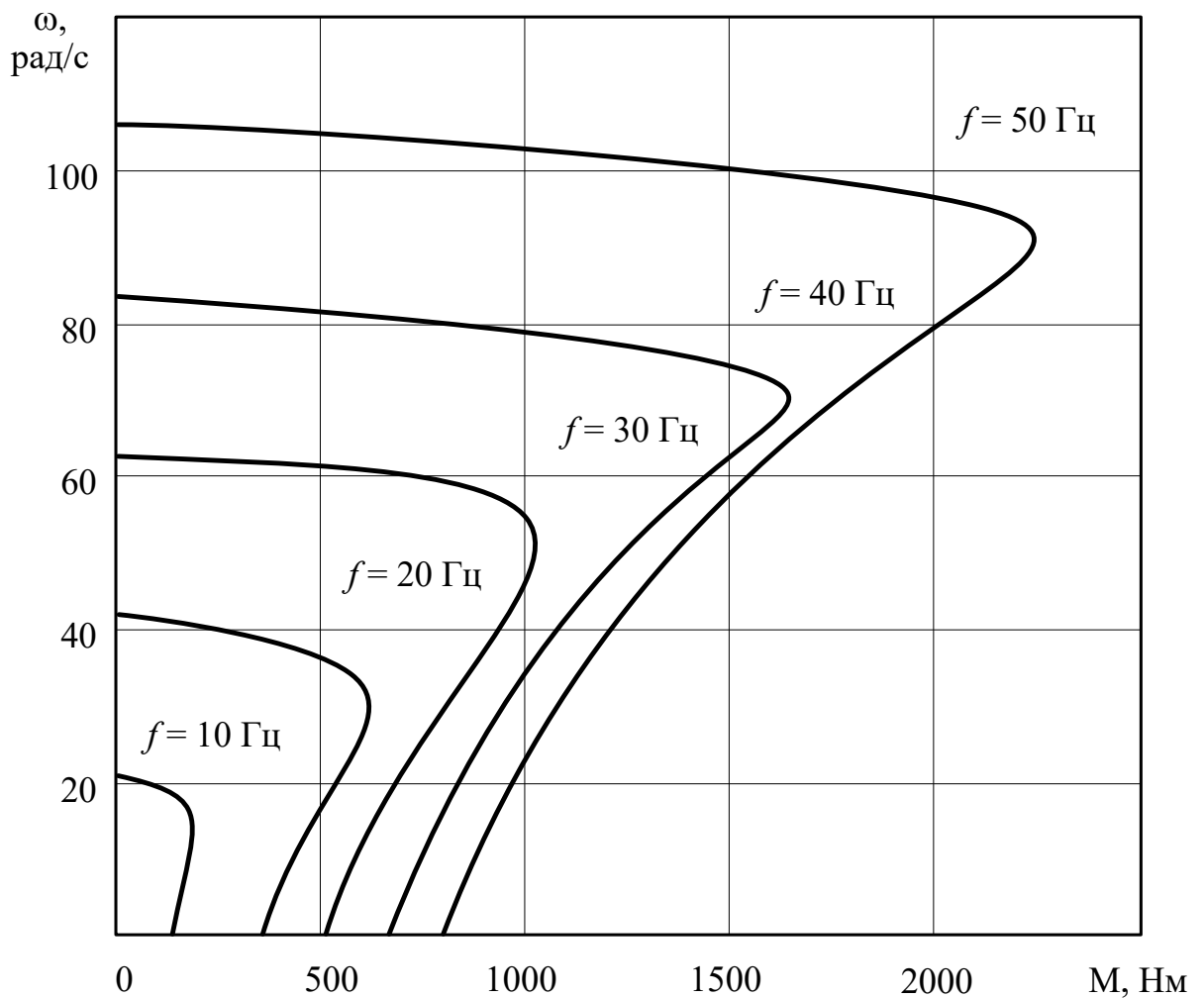


Рисунок 2.6 – Механічні характеристики для різного значення частоти живлення

Для розрахованої системи привода постійні втрати потужності:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{мех.н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^2 = k_{\text{мех}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{1 - s(f)}{1 - s_{\text{н}}} = k_{\text{мех}} P_{\text{н}} \frac{1 - \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}}{1 - s_{\text{н}}} \quad (2.19)$$

де $k_{\text{мех}}$ – коефіцієнт, що характеризує механічні втрати потужності, приймається на рівні 0,015.

Змінні втрати розраховуються відповідно до рівняння:

$$\Delta P_{\text{змін}} = M_{\text{н}} \cdot \frac{\omega_0 f^* - \omega}{\omega_0 f^*} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \quad (2.20)$$

Загальні втрати потужності становлять:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}} \quad (2.21)$$

ККД системи електропривода визначається відповідно до залежності:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \% \quad (2.22)$$

Залежності ККД від кутової частоти обертання двигуна для різних значень частоти живлення зображені на рисунку 2.4.

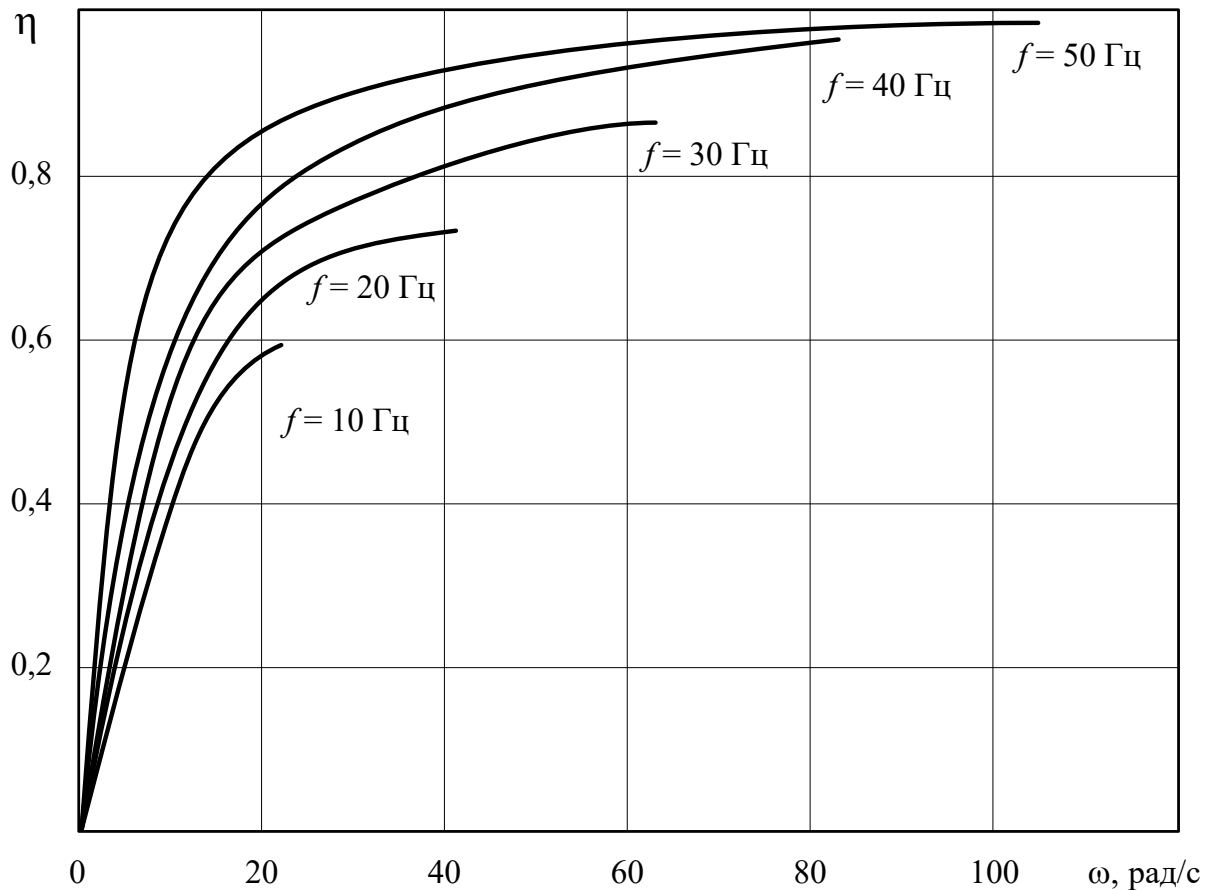


Рисунок 2.4 – Залежності ККД двигуна для різного значення частоти живлення

2.5 Заходи з енергозбереження та енергоефективність при експлуатації кранового обладнання

Енергозбереження при експлуатації кранового обладнання є ключовим аспектом сучасної промисловості, що дозволяє зменшити витрати, підвищити ефективність та знизити вплив на довкілля. Ось основні заходи, які застосовуються для досягнення енергоефективності [7-8]:

1. Використання частотно-регульованих приводів (ЧРП):

- Плавне регулювання швидкості: ЧРП дозволяють точно контролювати швидкість руху всіх механізмів крана (підйом, пересування, поворот). Це усуває стрибкові навантаження при пуску та гальмуванні, що призводить до значного зниження споживання електроенергії та зносу обладнання. При цьому варто враховувати, що

електроприводи підйомних механізмів кранів функціонують у повторно-короткочасному режимі. Переважно, двигун обертається на високих обертах, близьких до номінальних. Проте, під час запуску або при роботі на знижених обертах, двигун потребує живлення від керованого перетворювача. Щоб збільшити ефективність електроприводу та зменшити втрати, асинхронний двигун доцільно підключати прямо до мережі, коли регулювання не потрібне. Це також запобігає появі вищих гармонік у мережі. У такому випадку коефіцієнт потужності буде визначатися виключно самим асинхронним двигуном.

- Рекуперація енергії: Сучасні ЧРП з функцією рекуперації дозволяють повертати енергію, що виробляється двигунами під час гальмування або опускання вантажу, назад у мережу. Це може забезпечити до 30% економії електроенергії.
- Оптимізація роботи двигунів: ЧРП забезпечують роботу двигунів у режимі мінімальних втрат, адаптуючи їхню потужність до поточного навантаження.

2. Оптимальний підбір електродвигунів:

- Правильний вибір потужності: Вибір електродвигуна з оптимальною потужністю для конкретного завдання дозволяє уникнути роботи на холостому ходу або з перевищенням номінального навантаження, що є неефективним.
- Енергоефективні двигуни: Використання двигунів з високим класом енергоефективності (наприклад, IE3, IE4 за стандартом ІЕС) дозволяє зменшити втрати енергії в самому двигуні.

3. Легкі та компактні конструкції кранів:

- Оптимізація дизайну: Використання легших матеріалів та оптимізованих конструкцій (наприклад, європейський стиль кранів) дозволяє зменшити загальну вагу крана. Це, у свою чергу, знижує енерговитрати на переміщення власної маси обладнання.
- Компактність: Менші габарити та оптимізований простір для гака дозволяють ефективніше використовувати площу виробничого приміщення та скорочувати шлях переміщення вантажів.

4. Впровадження інтелектуальних систем та автоматизації:

- Системи керування: Використання сучасних систем керування, що дозволяють оптимізувати траєкторію руху вантажу, мінімізувати розгойдування та скоротити час робочого циклу.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Штучний інтелект (ШІ): Інтеграція ШІ дозволяє кранам адаптуватися до мінливих умов, аналізувати дані в реальному часі та приймати рішення для оптимізації вантажно-розвантажувальних робіт, що підвищує продуктивність та енергоефективність.
- Автоматизовані режими: Повністю автоматизовані крани можуть працювати за заздалегідь визначеними алгоритмами, що забезпечує стабільну та енергоефективну роботу.

5. Енергозберігаючі гальмівні системи:

- Регенеративне гальмування: Поряд з ЧРП, це дозволяє перетворювати кінетичну енергію, що виділяється при гальмуванні та опусканні вантажу, назад в електричну і повертати її в мережу.

6. Зменшення втрат у кабельних лініях:

- Оптимізація довжини та перерізу кабелю: Використання кабелів відповідного перерізу та мінімізація їх довжини знижує втрати енергії на опір.

7. Регулярне технічне обслуговування:

- Зменшення тертя: Регулярне змащування рухомих частин, перевірка стану підшипників, редукторів та інших механізмів дозволяє зменшити механічні втрати та, відповідно, споживання енергії.
- Справність електроустаткування: Своєчасний ремонт та заміна пошкоджених елементів електроприводу запобігає зайвим втратам енергії.

В електроприводі змінного струму серії ACS880 значну увагу приділено можливостям енергозбереження та обліку спожитої електроенергії. Цей привід дозволяє точніше налаштовувати виробничі процеси для оптимізації енергоспоживання.

Режим оптимізації енергоспоживання забезпечує максимальне співвідношення між крутним моментом та струмом, зменшуючи обсяг енергії, що надходить від джерела живлення. Функція створення профілю навантаження збирає дані з приводу за допомогою трьох реєстраторів: двох амплітудних та одного пікового. Вбудовані обчислювальні пристрої надають інформацію про фактично витрачену та заощаджену електроенергію.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.РЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Волошин Р.О.									
Перевір.		Ільченко О.В.									
Реценз.									гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільченко О.В.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

3.1 Розрахунок навантажень та параметрів силових трансформаторів

Електропостачання козлового крана, розташованого на складському майданчику, інтегроване із системою живлення інших промислових об'єктів з напругою 0,4 кВ.

На основі однолінійної схеми електропостачання формується зведена таблиця споживачів (таблиця 3.1). У цій таблиці відображені такі параметри:

- Кількість (n) та номінальна потужність (P_n) кожного споживача.
- Сумарна активна (ΣP) та реактивна потужність (ΣQ).
- Коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$) та коефіцієнт реактивної потужності ($\operatorname{tg}\varphi$).
- Розраховані сумарна повна потужність (ΣS) та приведена повна потужність споживачів ($\Sigma S'$), остання з яких враховує коефіцієнт попиту (k_{π}).

Таблиця 3.1 – Перелік споживачів електроенергії при напрузі 0,4 кВ

Споживачі	n	P_n , кВт	ΣP , кВт	ΣQ , кВАр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	ΣS , кВА	k_{π}	$\Sigma S'$, кВА
Кран козловий	1	52,8	52,8	46,57	0,75	0,88	70,40	0,60	42,24
Вентилятор	2	11	22	14,21	0,84	0,65	26,19	0,95	24,88
Вуличне освітлення майданчика	1	10	10	6,46	0,84	0,65	11,90	0,95	11,31
Ремонтна майстерня	1	75	75	44,50	0,86	0,59	87,21	0,90	78,49
Резерв	2	50	100	69,80	0,82	0,70	121,95	0,95	115,85
Сума:			259,8	181,54			317,66		272,77

Сумарна активна P та реактивна Q потужність споживачів розраховується відповідно до виразу:

$$\sum P = \sum P_n n \quad (3.1)$$

$$\sum Q = \sum P \operatorname{tg}\varphi \quad (3.2)$$

Сумарна повна потужність всіх споживачів:

$$\sum S_{\text{ном}} = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2} \quad (3.3)$$

Приведена повна потужність визначається відповідно до коефіцієнту попиту k_{π} :

$$\sum S' = \sum S \cdot k_{\pi} \quad (3.4)$$

					Розділ 3				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Приведена повна потужність становить: $\sum S' = 272,77$ кВА.

Коефіцієнт завантаження трансформатора можна прийняти на рівні $\beta = 0,6$.

Необхідна потужність одного силового трансформатора становить:

$$S_{\text{тр}} = \frac{\sum S'}{2 \cdot \beta} = \frac{272,77}{2 \cdot 0,6} = 227,31 \text{ кВА} \quad (3.5)$$

Згідно з розрахунковою повною потужністю, обирається масляний трансформатор типу ТМ-250/6-0,4 зі значенням потужності 250 кВА. Цей трансформатор має дві трифазні обмотки та є знижувальним силовим агрегатом промислового призначення [9].

Він використовується для перетворення електроенергії в мережах енергосистем та живлення споживачів. Трансформатор розрахований на зовнішню або внутрішню експлуатацію в умовах помірного та холодного клімату. Головні технічні характеристики трансформатора наведені в таблиці 3.2, а його загальний вигляд — на рисунку 3.1.

Таблиця 3.2 – Паспортні характеристики силового масляного трансформатора

Тип	ТМ-250/6-0,4
Номінальна потужність $S_{\text{ном}}$, кВА	250
Номінальна напруга первинної обмотки $U_{\text{вн}}$, кВ	6
Номінальна напруга вторинної обмотки $U_{\text{нн}}$, кВ	0,4
Втрати холостого ходу $P_{\text{хх}}$, кВт	0,61
Втрати короткого замикання $P_{\text{кз}}$, кВт	3,7
Струм холостого ходу $I_{\text{хх}}$, %	1,9
Напруга короткого замикання $U_{\text{кз}}$, %	4,5
Схема та група з'єднання обмоток	У/УН-0 У/ЗН-11
Повна маса, кг	1150
Довжина, мм	1230
Ширина, мм	910
Висота, мм	1570

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{K1} = 2,55 \cdot 5,77 = 14,72 \text{ кА} \quad (3.7)$$

де S_6 – базова потужність на підстанції, МВА.

Повна потужність в точці короткого замикання K_1 :

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_{BH} = \sqrt{3} \cdot 5,77 \cdot 6 = 60 \text{ МВА} \quad (3.8)$$

Реактивний опір:

$$X_{K1} = \frac{1,05 \cdot U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{K1}} = \frac{1,05 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 5,77} = 0,63 \text{ Ом.} \quad (3.9)$$

Опір трансформатора напругою 6/0,4 кВ зі сторони напруги 6 кВ:

$$X_{тр} = \frac{U_{K3} \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{трном}} = \frac{4,5 \cdot 6^2}{100 \cdot 0,25} = 6,48 \text{ Ом,} \quad (3.10)$$

де $S_{трном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

Загальний опір паралельно з'єднаних трансформаторів:

$$X'_{тр} = \frac{X_{тр} \cdot X_{тр}}{X_{тр} + X_{тр}} = \frac{6,48 \cdot 6,48}{6,48 + 6,48} = 3,24 \text{ Ом.} \quad (3.11)$$

Живлення від трансформаторів до пункту розподілу виконано кабелем довжиною 400 м, опір якого становить:

$$X_1 = X_{01} \cdot l_1 = 0,06 \cdot 0,4 = 0,024 \text{ Ом,} \quad (3.12)$$

де X_{01} – питомий опір кабельної лінії напругою 0,4 кВ, Ом/км.

Сумарний опір кабельної лінії з двох паралельних кабелів:

$$X'_1 = \frac{X_1 \cdot X_1}{X_1 + X_1} = \frac{0,024 \cdot 0,024}{0,024 + 0,024} = 0,012 \text{ Ом} \quad (3.13)$$

Друга ділянка кабельної лінії довжиною 100 м від розподільного пункту до козлового крану має опір:

$$X_2 = X_{02} \cdot l_2 = 0,06 \cdot 0,1 = 0,006 \text{ Ом,} \quad (3.14)$$

де X_{02} – питомий опір кабельної лінії напругою 0,4 кВ, Ом/км.

Сумарний опір до точки короткого замикання K_2 :

$$X_{K2} = (X_{K1} + X'_{тр}) \frac{U_{HH}^2}{U_{BH}^2} + X'_1 = (0,63 + 3,24) \cdot \frac{0,4^2}{6^2} + 0,012 = 0,03 \text{ Ом} \quad (3.15)$$

Сумарний опір до точки короткого замикання K_3 :

$$X_{K3} = X_{K2} + X_2 = 0,03 + 0,006 = 0,036 \text{ Ом} \quad (3.16)$$

Струм короткого замикання у точці K_2 , ударний струм:

$$I_{K2} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot X_{K2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,03} = 8,08 \text{ кА} \quad (3.17)$$

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{y2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 8,08 = 20,6 \text{ кА} \quad (3.18)$$

Повна потужність в точці короткого замикання K_2 :

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot I_{K2} \cdot U_{\text{нн}} = \sqrt{3} \cdot 8,08 \cdot 0,4 = 5,6 \text{ МВА} \quad (3.19)$$

Струм короткого замикання у точці K_3 та ударний струм:

$$I_{K3} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot X_{K3}} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,036} = 6,73 \text{ кА} \quad (3.20)$$

$$i_{y3} = 2,55 \cdot I_{K3} = 2,55 \cdot 6,73 = 17,18 \text{ кА} \quad (3.21)$$

Повна потужність в точці короткого замикання K_3 :

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot I_{K3} \cdot U_{\text{нн}} = \sqrt{3} \cdot 6,73 \cdot 0,4 = 4,66 \text{ МВА} \quad (3.22)$$

3.3 Вибір обладнання з високовольтної сторони

3.3.1 Розрахунок параметрів кабельної лінії

Визначення необхідного перетину кабельної лінії для приєднання силового трансформатора з боку високої напруги виконується на основі розрахункового номінального струму [11]:

$$I_{\text{н тр}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 24,05 \text{ А} \quad (3.23)$$

За умовою максимального струму вибирається алюмінієвий кабель перетином 10 мм^2 , який має допустимий струм в умовах відкритого повітря $I_{\text{доп}} = 50 \text{ А}$.

Потрібний перетин кабелю за втратою напруги в межах допустимого значення:

$$S_{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot \rho \cdot l}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 24,05 \cdot 0,028 \cdot 400}{15,2} = 30,7 \text{ мм}^2, \quad (3.24)$$

де ρ – питомий опір провідника, $\text{Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$; l – довжина лінії, м; ΔU – допустимі втрати напруги, що становлять 4% від номінальної, В.

Перетин кабелю, що необхідний за стійкістю струмам короткого замикання:

$$S_t = \frac{I_{K1} \cdot \sqrt{t_n}}{c} = \frac{5770 \cdot \sqrt{0,2}}{90} = 28,32 \text{ мм}^2, \quad (3.25)$$

де c – коефіцієнт нагріву; t_n – приведений час дії струму, с.

Щоб задовольнити поставлені умови вибираємо кабель типу АВВГ $3 \times 35 + 1 \times 16$ перетином жили 35 мм^2 . Обраний кабель має допустимий струм в умовах відкритого повітря $I_{\text{доп}} = 109 \text{ А}$.

3.3.2 Розрахунок параметрів високовольтного роз'єднувача

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роз'єднувачі застосовуються для створення явного розриву в електричному ланцюзі. Цей розрив відокремлює відключене обладнання від струмопровідних елементів, що залишаються під напругою. Така дія необхідна, наприклад, під час виведення обладнання на ремонт, щоб забезпечити безпеку робіт.

Вибір роз'єднувача ґрунтується на відповідності його номінальній напрузі та струму. Також обов'язково перевіряється його стійкість до струмів короткого замикання.

Попередньо обираємо високовольтний роз'єднувач типу РВЗ-10/400, технічні характеристики якого представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Паспортна характеристика роз'єднувача

Тип	РВЗ-10/400
Номінальна напруга, кВ	6-10
Номінальний струм, А	400
Номінальний наскрізний струм, кА	40
Струм термічної стійкості, кА	
- головних ножів	16
- ножів заземлення	16
Час протікання струму термічної стійкості, с	
- для головних ножів	3,0
- для ножів заземлення	1,0
Маса, кг	29

Обраний роз'єднувач відповідає за струмовим навантаженням, так як струм номінальний перевищує струм навантаження:

$$I_{\text{н}} = 400 > I_{\text{розр}} = 24,05 \text{ А}, \quad (3.26)$$

а також наскрізний струм перевищує значення струму короткого замикання:

$$I_{\text{max}} = 40 > I_{\text{К1}} = 5,77 \text{ кА}. \quad (3.27)$$

Необхідна стійкість розрахунковому струму короткого замикання:

$$I_{\text{К1}}^2 t_{\text{ф}} = 5,77^2 \cdot 1,1 = 36,6 \text{ кА}^2\text{с}. \quad (3.28)$$

Термічна стійкість має розрахункове значення:

$$I_{\text{т}}^2 t = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2\text{с}, \quad (3.29)$$

яке перевищує необхідне значення. Отже, роз'єднувач обраний відповідно вимогам. Зображення та розміри роз'єднувача РВЗ-10/400 показано на рисунку 3.3.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.3 – Роз’єднувач RV3-10/400

3.3.3 Високовольтний автоматичний вимикач

Автоматичні вимикачі призначені для встановлення у високовольтних розподільних пристроях. Їхня основна функція — захист персоналу та обладнання від небезпечних ситуацій, таких як перевантаження струмом, коротке замикання або замикання на землю. Вони здійснюють це шляхом розмикання електричних кіл у вакуумних камерах, отримуючи сигнал від окремого реле, розташованого поза вимикачем.

Вибір автоматичного вимикача ґрунтується на номінальному струмі навантаження та максимальному струмі, який вимикач здатен безпечно відключити. Крім того, обраний пристрій обов'язково перевіряється на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Номінальний струм вимикача повинен перевищувати розрахунковий номінальний струм його навантаження:

$$I_n > I_{\text{розр}} = 24,05 \text{ А}, \quad (3.30)$$

Виходячи з цього значення, обираємо за каталогом високовольтний вакуумний вимикач серії Susol. Вибраний вимикач призначений для функціонування в трифазних мережах змінного струму. Він розроблений для роботи на частоті 50 Гц та напрузі 6 кВ, як у звичайних, так і в аварійних умовах. Його технічні параметри представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристика вакуумного вимикача

Тип	VL-06 20 06
Номинальна напруга, кВ	7,2
Номинальний струм, А	630
Номинальний струм відключення, кА	20
Номинальний короткочасний струм відключення, кА/с	20/3
Номинальний струм включення, кА	52
Допустима напруга промислової частоти, кВ	20
Номинальна тривалість відключення, с	< 0,04
Номинальна тривалість включення, с	< 0,08
Час заведення пружини ввімкнення, с	15
Струм споживання електромагніту включення, А	1,0
Струм споживання електромагніту відключення, А	1,0
Відстань між полюсами, мм	150
Маса, кг	100

Виконуємо перевірку обраного вимикача на термічну стійкість струмам короткого замикання:

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 > 36,6 \text{ кА}^2\text{с.} \quad (3.31)$$



Рисунок 3.4 – Вакуумний вимикач високовольтний

3.3.4 Вимірювальний трансформатор струму

При виборі трансформатора струму слід зважати на кілька важливих факторів: його номінальний струм, необхідний клас точності, а також конструктивне виконання. Після попереднього вибору потрібно обов'язково перевірити пристрій на динамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання, які можуть виникнути в системі в місці його встановлення під час аварійних ситуацій.

Для вибору трансформатора струму потрібно враховувати умову:

$$I_n > I_{\text{розр}} = 24,05 \text{ А}, \quad (3.32)$$

З огляду на необхідний струм, обираємо трифазний високовольтний трансформатор струму ТОЛУ-10 (рисунок 3.5), що має найближче більше стандартне значення. Трансформатор призначений для встановлення в промислових мережах 6 кВ. Він слугує для вимірювання струму, живлення систем релейного захисту, а також для перевірки працездатності пристроїв максимального струмового захисту. Технічні характеристики обраного трансформатора наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики трансформатора ТОЛУ-10

Номінальна напруга, кВ	6,0
Максимальна робоча напруга, кВ	7,2
Номінальна частота мережі, Гц	50
Номінальний струм первинної обмотки, А	600
Номінальний струм вторинної обмотки, А	5
Номінальна потужність навантаження, ВА	30
Коефіцієнт потужності навантаження	0,8
Номінальний клас точності	0,5
Випробувальна напруга первинної обмотки, кВ	32
Випробувальна напруга вторинної обмотки, кВ	3
Опір ізоляції первинної обмотки, МОм	> 50
Опір ізоляції вторинної обмотки, МОм	> 1000
Струм електродинамічної стійкості, кА	51
Струм термічної стійкості, кА/с	20/1
Відносна вологість середовища, %	< 98

Трансформатор має струм електродинамічної стійкості 51 кА, задовольняє умовам стійкості струмам, зокрема ударним, короткого замикання при $i_{y1} = 14,72$ кА.

Виконуємо перевірку трансформатора на термічну стійкість розрахованому струму короткого замикання:

$$I_t^2 t_t = 20 \cdot 2 = 400 > 36,6 \text{ кА}^2\text{с}. \quad (3.33)$$

Таким чином, обраний трансформатор задовольняє умові термічної стійкості.



Рисунок 3.5 – Вимірювальний трансформатор струму

3.4 Розрахунок низьковольтного обладнання

3.4.1 Розрахунок автоматичного вимикача

Електропостачання крана надходить від пункту розподілу на 380 вольт. Щоб забезпечити безпеку обладнання та проводки, слід встановити автоматичний вимикач. Цей пристрій обирається, базуючись на розрахунковому споживанні струму, рівні напруги та можливого струмі короткого замикання. Розрахунок споживаного краном струму виконується виходячи з сумарної потужності його двигунів:

$$I_{\text{розр}} = \frac{\Sigma P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \phi} = \frac{(22 + 2,2 \cdot 4 + 5,5 \cdot 4) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,825 \cdot 0,79} = 123 \text{ А} \quad (3.31)$$

де $\Sigma P_{\text{н}}$ – сумарна номінальна потужність усіх двигунів, що встановлені (переміщення крану та візка).

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вищезазначеним умовам відповідає трифазний автоматичний вимикач серії ВА88-33, зображений на рисунку 3.6. Його технічні параметри представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Паспортні дані автоматичного вимикача

Типорозмір	ВА88-33
Максимальний номінальний струм, А	125
Номінальний струм (уставка теплового роз'єднувача), А	400
Уставка електромагнітного роз'єднувача, А	$10I_n$
Роз'єднувач надструмів	тепловий та електромагнітний
Номінальна допустима можливість відключення, кА	35
Механічний ресурс, циклів відключення	4000
Електричний ресурс, циклів відключення	2000
Габаритні розміри, мм	140×254×103,5
Кліматичне виконання та категорія розміщення	УХЛЗ
Маса, кг	1,2

Автоматичні вимикачі серії ВА88 слугують для проходження струму в звичайних умовах. Вони здатні розмикати електричні кола у випадках коротких замикань, перевантажень або неприпустимого падіння напруги. Крім того, їх використовують для ручного ввімкнення та вимкнення окремих ділянок електромереж. Ці пристрої розраховані на використання в електроустановках з номінальною робочою напругою до 400 В.

Вимикач ВА88 має моноблочну конструкцію, що складається з основи та кришки з панеллю. У панелі розташовані вікно для руків'я керування та штовхач кнопки "Тест", яка дозволяє перевірити механізм відключення. Система гасіння

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричної дуги представлена решітками зі сталевими нікельованими вкладишами. Підключення дротів або шин з боку джерела живлення здійснюється до верхніх затискачів вимикача за допомогою болтів або затискачів, що входять до комплекту. Провідники, що ведуть до споживача, підключаються до нижніх затискачів.

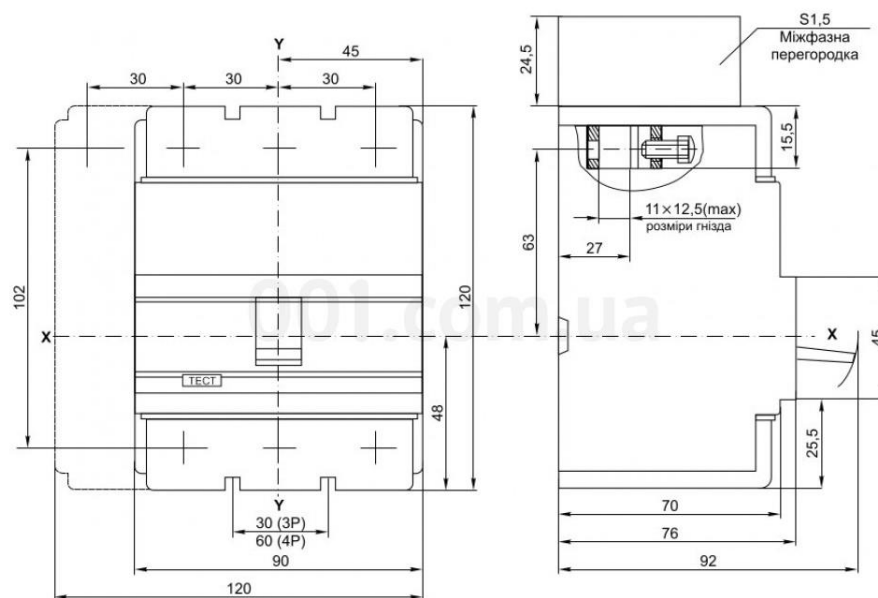


Рисунок 3.6 – Автоматичний вимикач ВА88-33

Вибраний автоматичний вимикач слід перевірити на термічну стійкість до струмів короткого замикання. Потрібна термічна стійкість відповідає фактичному струму короткого замикання:

$$I_{K3}^2 t_{\phi} = 6,73 \cdot 1,1 = 49,82 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.32)$$

Відповідно до характеристик вимикача:

$$I_t^2 t_t = 35 \cdot 1 = 1225 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.33)$$

Вимога термічної стійкості вимикача виконується, тому можна зробити висновок, що обраний вимикач задовольняє.

ВИСНОВКИ

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.В							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Волошин Р.О.			Висновки				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Ільченко О.В.										
Реценз.									гр. ЕЕМ-21-1			
Н. Контр.		Ільченко О.В.										
Затверд.		Пересунько І.І.										

У ході цієї роботи була успішно розв'язана важлива практична проблема — оновлення системи електроприводу підйому козлового крана на виробничому майданчику ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Модернізація включала заміну застарілої, енергетично неефективної системи з реостатним керуванням асинхронним двигуном з фазним ротором на сучасний регульований частотний привід.

Впроваджені зміни забезпечили розробленій електромеханічній системі низку переваг:

- Плавність: можливість м'якого пуску двигуна та широкого діапазону регулювання його швидкості.
- Зручність: простота в експлуатації та технічному обслуговуванні.
- Стійкість: висока надійність роботи системи.
- Енергоефективність: покращені показники енергоспоживання.

Отже, розглянуті в роботі заходи щодо модернізації системи електроприводу кранового підйому є обґрунтованими для впровадження на підприємстві.

					Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					КНУ.РБ.141.25.248с.01.Л						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Волошин Р.О.									
Перевір.		Ільченко О.В.									
Реценз.									гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільченко О.В.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

1. Воляннюк В.О. Підйомно-транспортні машини (системи): конспект лекцій Ч. 1 / В.О. Воляннюк. – Київ: КНУБА, 2019. – 144 с.
2. Поліщук, Л. К. Підйомно-транспортні машини та механізми: лабораторний практикум / Л. К. Поліщук, А. В. Слабкий. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 74 с.
3. Підйомно-транспортні машини: підручник / А. С. Кобець, В. І. Дирда, Ю. Г. Козуб, С. В. Ракша та ін.: за ред. проф. А. С. Кобця та В. І. Дирди. – Луганськ : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. - 218 с. Наводиться фрагмент тексту.
4. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.
5. Практикум за теорії електропривода: Навчальний посібник / В.В. Каневський, В.Ю. Захаров, А.П. Сінолиций, Ю.Г. Осадчук, Т.В. Величко/За заг. ред. В.В. Каневського. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.-124 с., з іл
6. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.- К: Кондор, 2005 - 408с.
7. Енергозбереження. Методи визначення норм витрат електроенергії гірничими підприємствами: ДСТУ 3224-95 – Введ. 1997-07-01. – Київ: Мінвуглепром, 2006. – 88 с.
8. Разумний Ю.Т. Ефективне використання електроенергії та палива: Навчальний посібник / Ю.Т. Разумний, А.В. Рухлов, В.М. Прокуда, Н.Ю. Рухлова; м-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д: [НГУ], 2014. – 223 с.
9. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.
10. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.
11. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р. Основи електропостачання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 237 с.

					Список використаних джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		